Revista Científica
Academia da Força Aérea

"E não menos por Armas que por Letras"

N.º 3, publicação anual, 2013

Revista Científica Academia da Força Aérea

N.º 3, publicação anual, 2013

José António de Magalhães Araújo Pinheiro

General

Chefe do Estado-Maior da Força Aérea

Joaquim Manuel Nunes Borrego

Major-General Piloto Aviador

Comandante da Academia da Força Aérea

Publicada anualmente com textos em português e em inglês, a Revista Científica da Academia da Força Aérea é uma publicação da Força Aérea.

Destina-se a divulgar a actividade da Academia da Força Aérea, no domínio da investigação científica, designadamente Teses de Mestrado e Doutoramento e Trabalhos de Final de Curso.

As opiniões expressas nesta revista pertencem aos respectivos autores.

Índice

Ficha Técnica

Diretor — **Comandante da Academia da Força Aérea**
Major-General Piloto Aviador Joaquim Manuel Nunes Borrego

Conselho Editorial

2.º Comandante da Academia da Força Aérea
Coronel Piloto Aviador Rafael Martins
Chefe do Gabinete de Avaliação e Qualidade
Coronel da Polícia Aérea Vítor Baptista
Assessor do Comando
Coronel Engenheiro Eletrotécnico Hélio Fernandes
Comandante do Corpo de Alunos
Coronel Piloto Aviador Rui Tendeiro
Diretor do Ensino da Academia da Força Aérea
Coronel Engenheiro Aeronáutico José Santiago
Diretor do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea
Tenente Coronel Engenheiro Eletrotécnico José Morgado

Conselho Consultivo

Tenente-Coronel Navegador Carlos Páscoa (EMFA)
Doutor em Engenharia Informática e de Computadores, ramo Sistemas de Informação, pelo Instituto Superior Técnico.
Tenente-Coronel Piloto Aviador João Vicente (IESM)
Doutorando em Relações Internacionais, especialidade de Estudos de Segurança e Estratégia, na Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa;
Mestre em Estudos da Paz e da Guerra nas Novas Relações Internacionais, pela Universidade Autónoma de Lisboa;
Master of Military Operational Art and Science, pela *Air University*, Alabama, EUA.
Tenente-Coronel de Administração Aeronáutica Jorge Pimentel (AFA)
Mestrando em Estudos da Paz e da Guerra, na Universidade Autónoma de Lisboa;
Pós-graduado em Contabilidade, pelo Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa;
Pós-graduado em Fiscalidade, pelo Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa.
Major Técnico de Operações de Deteção, Conduta e Interseção Luís Rocha (AFA)
Doutorando em Relações Internacionais;
Mestre em Relações Internacionais, pela Universidade Autónoma de Lisboa.
Major Engenheira Aeronáutica Maria Madruga (AFA)
Doutora em Engenharia Mecânica, pela *Florida State University*, EUA.
Major Engenheira Eletrotécnica Maria Nunes (AFA)
Doutora em Engenharia Aeroespacial, pela Faculdade de Aeronáutica e Astronáutica da Universidade das Forças Armadas, Munique, Alemanha.
Mestre em Posicionamento e Navegação por Satélite, pela Fac. de Ciências da Universidade do Porto.
Capitão Engenheiro Aeronáutico Carlos Silva (AFA)
Doutor em Engenharia Mecânica, pela Universidade de Victoria, Canadá;
Mestre em Engenharia Mecânica, pela Universidade de Victoria, Canadá.
Capitão Engenheira de Aeródromos Rute Ramalho (AFA)
Doutoranda em Engenharia Civil, ramo de Vias de Comunicação, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
Mestre em Vias de Comunicação, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
Capitão Psicóloga Cristina Fachada (AFA)
Doutoranda em Psicologia, na Faculdade de Psicologia da Universidade de Lisboa;
Mestre em Políticas de Desenvolvimento dos Recursos Humanos, pelo Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa.
Capitão Engenheiro Eletrotécnico Elói Pereira (AFA)
Doutorando em Engenharia de Sistemas, na Universidade da Califórnia, Berkeley, EUA;
Mestre em Automação, Instrumentação e Controlo, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
Capitão Engenheiro Aeronáutico Luís da Silva Félix (AFA)
Doutorando em Engenharia Aeroespacial, no Instituto Superior Técnico.

Propriedade: Academia da Força Aérea
Título: Revista Científica da Academia da Força Aérea
Foto da Capa: Veículo Aéreo não tripulado (UAV) *Sharky* em voo
Periodicidade: Anual, Número 3, 2013
Contra Capa: Auditório principal da Academia Força Aérea
Paginação, Impressão e Acabamento: Alves&Albuquerque - RAL - Sintra - www.pre-e-press.com
ISSN: 2182-2174
Depósito legal: 328295/11
Tiragem: 1.000 exemplares
Distribuição gratuita
Morada: Academia da Força Aérea, Granja do Marquês, 2715-021 Pêro Pinheiro, Portugal
Correio electrónico: afa@emfa.pt
Desenvolvimento WEB: Centro de Informática da Academia da Força Aérea

Inovar, modernizar e adaptar, são princípios intrínsecos do código genético da NOSSA Força Aérea.

Conscientes de que a riqueza de qualquer Instituição está na sua gente, encaramos que o sucesso da nossa missão depende, fundamentalmente, da forma como preparamos o nosso efectivo, onde a excelência do ensino, na componente académica e comportamental, é o padrão que nos norteia numa perspectiva de bem fazer para bem servir.

Entendemos, assim, que é nas escolas que deve ser incentivada e desenvolvida esta nossa cultura, criando os mecanismos necessários para que o conhecimento, como suporte do Saber, e a formação pessoal e militar, como suporte do Ser, proporcionem aos futuros oficiais dos quadros permanentes da Força Aérea as ferramentas que lhes permitam, exercer o comando, e encarar e ultrapassar os desafios que, certamente, irão encontrar ao longo da sua vida militar.

É esta a missão da Academia da Força Aérea que, com exigência e rigor, prepara hoje os comandantes de amanhã, incentivando-os a servir com honra, a ser competentes, e a procurar sempre "voar cada vez mais alto".

Neste contexto, a componente de pesquisa e investigação, desenvolvida no âmbito académico, deve acompanhar a componente formativa e constituir-se como um fator de desenvolvimento pessoal e de ligação à Força Aérea logo no início da carreira militar dos jovens oficiais, mas também, um elemento de produção de novas ideias e conceitos em proveito do Ramo.

É com muito orgulho institucional, e pessoal, que deixo uma mensagem de apreço e de incentivo aos alunos, professores e a todos os militares e civis que contribuíram para que, mais uma vez, seja meritório o trabalho efectuado na Academia da Força Aérea, materializado, em parte, nesta Revista Científica, que inclui uma seleção de artigos desenvolvidos no âmbito das provas de dissertação dos diferentes cursos ministrados na nossa Academia.

José António de Magalhães Araújo Pinheiro, General
Chefe do Estado-Maior da Força Aérea

Brasão do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea

Os reflexos da atual conjuntura – crise económica – não podem alastrar-se aos valores do Ser e do Saber, tão preciosos para o contexto e natureza da formação ministrada na AFA. Assume, portanto, a maior relevância promover o conhecimento das gerações emergentes, reconhecendo e potenciando a qualidade dos futuros oficiais, reafirmando e regenerando competências do ensino e investigação praticados na AFA, com reflexos importantes na cultura e valores da Instituição.

A terceira edição da Revista Científica da Força Aérea mantém-se fiel ao seu propósito inicial: "publicar os melhores trabalhos desenvolvidos no âmbito dos cursos ministrados neste estabelecimento de ensino". O lançamento deste número cumpre com a especificidade e qualidade das temáticas, concretizando o repto lançado aos responsáveis das diversas áreas de conhecimento ministradas na AFA.

A Força Aérea pretende consolidar, de forma contínua, a tradição académica, que impõe aos investigadores a publicação dos seus trabalhos, estimulando os mais jovens através da dedicação e exemplo, a produzir investigação científica com qualidade e oportunidade.

O conteúdo da presente publicação resulta de uma seleção criteriosa e do reconhecimento por especialistas experientes nas respetivas áreas científicas, onde as atividades académicas e o trabalho científico acontecem sem qualquer prejuízo das componentes militar e comportamental.

Saúdo todos os que se empenharam para a concretização deste projeto, nomeadamente o Corpo Docente e Discente, pelo empenho e persistência de propósito no sentido de responder às múltiplas imposições a que o Ensino Superior Público Universitário Militar se encontra vinculado, assim como pelo esforço de convergência alcançados com os requisitos de Bolonha.

Joaquim Manuel Nunes Borrego, Major-General Piloto Aviador
Comandante da Academia da Força Aérea

Brasão do Comandante da Academia da Força Aérea

Introdução

A Revista Científica da Academia da Força Aérea pretende divulgar sucintamente o resultado das atividades de investigação do ano letivo 2012/13, através da publicação dos melhores trabalhos. A vertente de investigação enquadra-se nos critérios e práticas em vigor para os Estabelecimentos de Ensino Superior dos quais não pode estar dissociada.

Os trabalhos publicados nesta terceira edição enquadram-se nas áreas da Engenharia Organizacional, Tecnologias Aeronáuticas, Relações Internacionais, Gestão, Saúde, Engenharia de Aeródromos e Engenharia Eletrotécnica, em domínios técnicos específicos das especialidades que direta ou indiretamente contribuem para o cumprimento seguro e eficaz da missão.

Os dois artigos iniciais revelaram-se contributos importantes para o aperfeiçoamento organizacional da FAP, ao nível da comunicação e controlo interdepartamental, no desempenho estratégico e operacional, com incrementos na *Organizational Self Awareness*. Permitem uma maior agilidade na adaptação ao meio envolvente e ganhos na gestão das atividades.

As aeronaves F-16, Chipmunk e o projeto PITVANT são contempladas com trabalhos essencialmente técnicos que visam melhorar ou adequar a exploração destes meios. A estes acrescenta-se um trabalho de investigação de natureza mais abrangente, destinado ao cálculo de indicadores de fiabilidade em aeronaves e equipamentos da FAP; e outro, que visa otimizar componentes aeronáuticos estruturais de forma a maximizar a carga que estes conseguem suportar sem sofrerem empenadura (*buckling*).

Apresentamos também investigações na área das Engenharias, onde se avança na procura de soluções no âmbito das energias alternativas para micro/minigeração e no desenvolvimento de técnicas para melhoramento de solos moles e sua simulação. Relativamente às áreas de Gestão/Administração, salientamos o trabalho de investigação que pretende minimizar os efeitos causados pela volatilidade dos preços de combustível e o desenvolvimento de um modelo de gestão otimizado para a logística da FAP nas missões NATO.

Num quadro mais técnico, dirigido para a Gestão de Recursos Humanos, é analisado o delicado processo de avaliação de mérito dos militares FAP, com o intuito de encontrar soluções que reduzam a sua subjetividade.

Na área das Relações Internacionais, é apresentado um trabalho sobre a influência dos atores não estatais na crise económica internacional de 2008, onde fica patente a inépcia dos mecanismos reguladores face aos agentes especuladores.

Os dois trabalhos que encerram a revista versam temáticas ligadas à Saúde, nomeadamente sobre o metabolismo ósseo; e um projeto para a criação de uma Unidade de Cuidados Continuados, no contexto do novo Hospital das Forças Armadas.

Manuel Fernando Rafael Martins, Coronel Piloto Aviador
2.º Comandante da Academia da Força Aérea

Construção de um Cockpit Organizacional para a Força Aérea Portuguesa

Autor: Pedro Guedes, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na Especialidade de Pilotagem Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Professor Doutor José Tribolet
Departamento de Engenharia Informática, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
CODE – Center for Organizational Design and Engineerin

Co-orientador: Doutor, Carlos Páscoa, Tenente-Coronel Navegador
Divisão de Operações, Estado-Maior da Força Aérea Portuguesa

"Não se consegue gerir o que não se consegue medir e não se consegue medir o que não se consegue descrever." (Kaplan & Norton, 1996)

Resumo: Num ambiente cada vez mais competitivo, independentemente da sua natureza, as organizações vêm-se forçadas a gerir os seus recursos de uma forma cada vez mais eficiente e eficaz produzindo serviços ou produtos com superior qualidade. As organizações perceberam a necessidade de centrar a sua ação em torno da sua estratégia, no plano que as permite obter vantagem competitiva e obter o desejado sucesso neste ambiente cada vez mais exigente. Contudo, apesar da reconhecida importância dada à estratégia de uma organização, estas continuam muito voltadas para os habituais ciclos de orçamentação e controlo financeiro das suas ações. Este comportamento tático, incremental e de curto-prazo não permite aos colaboradores, nomeadamente gestores e administradores, focar no que está para além do horizonte. O Cockpit Organizacional surge como um sistema de gestão estratégica em *near real time* na tentativa de colmatar as lacunas muitas vezes encontradas em explanar e comunicar a estratégia da organização a todos os níveis, para que os departamentos, unidades funcionais e colaboradores compreendam qual o seu contributo estratégico. Surge também como mecanismo de acompanhamento e medição do desempenho estratégico da organização potencializando a *Organizational Self-Awareness* ao fornecer a informação relativa a como decorre ou como decorreu o "voo" da organização em determinado período, proporcionando assim as condições para uma pilotagem estratégica por partes dos decisores.

Palavras-chave: Engenharia Organizacional, Self-awareness, Gestão de Performance, Cockpit Organizacional, Mapa de Estratégia, Balanced Scorecard, Flight Plan Organizacional, Quadro de Avaliação e Responsabilização.

1. INTRODUÇÃO

O ser Humano tem como característica a constante ambição por atingir algo que ainda não conseguiu alcançar. Independentemente de ser uma ambição material, pessoal, sentimental ou espiritual, possui desejos próprios, isto é, uma visão da situação que pretende atingir. Para tal, necessita delinear um plano ou fio-condutor, simples ou complexo, de curto ou longo-prazo com um sentido lógico, tendo em consideração as suas capacidades e vulnerabilidades, que permita concretizar essa mesma visão. Em suma, precisa de definir uma estratégia.

Como Porter (1996) afirma que a base constituinte da estratégia são as atividades que a organização escolhe nas quais se procura tornar excelente. A estratégia consiste assim num plano de um conjunto de atividades e que a organização se pretende diferenciar e obter vantagem competitiva, para obter o sucesso alcançando a visão desejada.

Num mundo em que as Tecnologias e Sistemas de Informação permitiram ultrapassar muitas das barreiras físicas, as organizações tornaram-se mais competitivas e a sociedade mais exigente relativamente aos produtos e serviços que procura. Person (2009) refere mesmo que "liderar um negócio no atual mundo da alta-velocidade não é diferente de pilotar um jato de alta-velocidade". Isto implica que para os gestores e administradores das organizações tomarem determinadas decisões necessitam de obter informação quase em tempo real, tal como num

cockpit de um jato onde estão reunidas as informações que permitem um piloto e tripulação saber se o voo decorre conforme o pretendido.

As organizações necessitam igualmente de um Cockpit que permita explanar a sua estratégia, comunica-la a todos os níveis da organização bem como acompanhar a sua execução, medindo o seu desempenho para se determinar se o "voo" da organização está a decorrer conforme a estratégia delineada.

Se não for possível medir o desempenho dessa execução estratégica, "se não for possível medir resultados, não podemos saber se tivemos sucesso ou se falhámos" como afirmam Osborne e Gaebler (1992).

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este parágrafo é um importante meio de apoio deste artigo. No mesmo será feito um resumo teórico de todo o material com o qual se tomou contacto e o qual se revela fundamental para o desenvolvimento da solução do problema anunciado.

- **Engenharia Organizacional**: Macedo et al. (2005) afirmam que Engenharia Organizacional (OE) surge na tentativa de responder à seguinte questão: *"Como desenhar e melhorar, todos os elementos associados a uma empresa, através do uso de métodos de análise e de ferramentas, para melhor se conseguir que esta cumpra os seus objetivos estratégicos?"* Para Liles e Presley (1996) OE consiste num *"conjunto de conhecimentos, princípios e práticas relacionadas com a análise, design, implementação e operação de uma empresa"* e como tal esta área científica pretende estudar e desenvolver métodos e ferramentas que permitam alinhar os processos de negócio com os objetivos estratégicos das organizações representam um novo conceito de Conhecimento, que é um instrumento necessário para gerir estas alterações e melhorar as capacidades de gestão em tempo real. Magalhães e Tribolet (2005) referem que OE pretende assim "*ajudar as organizações a fazer uma melhor utilização dos seus recursos humanos e de informação de modo que possa construir conhecimento e inteligência organizacional de uma forma sustentável"*.
- **Organizational Self-Awareness:** O conhecimento é essencial pelo facto de serem as pessoas as únicas capazes de gerar uma autoconsciência sobre a organização. Zacarias et al. (2007) descrevem essa autoconsciência organizacional como a consciência que as pessoas desenvolvem da organização como um todo e do seu papel. Segundo Vicente (2007) o conceito de *self-awarness* organizacional (OSA) é caracterizado em duas dimensões: a dimensão individual e a dimensão organizacional. A dimensão individual refere-se à capacidade que os membros individuais têm para responder a perguntas como: O que sou eu nesta organização? Como é que as coisas são feitas aqui? O que é que a organização, como um todo, está a fazer agora? *"A dimensão organizacional refere-se à combinação entre agentes humanos ou autómatos, recursos e procedimentos que fornecem à organização a inteligência necessária para lidar com questões como: Quem são os meus membros? Como é que eles fazem coisas? O que é que eles estão a fazer agora?"* (2007). Assim, uma organização é *self-aware* quando estas duas dimensões estão alinhadas. Desta forma ao enquadrarmos cada agente organizacional dentro da organização em si,

estamos a atribuir relevância à dimensão individual, o que consequentemente funciona como meio de motivação.

- **Gestão de Performance:** Como citado anteriormente por Osborne e Gaebler (1992) *"se não for possível medir resultados, não podemos saber se tivemos sucesso ou se falhámos".* Seguindo a mesmo pensamento Neely [(2002) defende que *"medir pressupõe a existência de indicadores e métricas, que devem integrar uma infraestrutura de suporte para recolha, tratamento, análise e interpretação da informação, isto é, um sistema de medição da performance"*. A definição de gestão de performance pode ser resumida, como sugere Cokins [(2004), como o *"processo para gerir a execução da estratégia de uma organização"*. Esta "*indica como se transformam os planos em resultados"*. Poister (2003) refere que consiste numa metodologia abrangente pois consiste num *"processo de dirigir e controlar pessoas e unidades funcionais numa organização, com o objetivo de as motivar para atingir níveis de performance mais elevados e os resultados desejados"*. O mesmo autor continua dizendo que que *"dar feedback aos empregados acerca da sua performance é um fator fundamental para uma metodologia eficaz da gestão de performance. Este feedback é dado habitualmente através de indicadores de performance".*
- **Balanced Scorecard:** O panorama atual veio reforçar a ideia de que os tradicionais indicadores financeiros, utilizados há vários anos nas organizações, na perspetiva do controlo da gestão, suficientes no novo contexto de negócios globais. Kaplan e Norton (1996) afirmam que *"if you can't measure it, you can't manage it"* que pode ser interpretado da seguinte maneira: *"o que medimos é um sinal poderoso que transmitimos para a organização"*. Para gerir as organizações é necessário ter os indicadores adequados. Era necessário integrar e 'balancear' na medição de performance outro tipo de indicadores para além de financeiros (1996). À tradicional dimensão financeira, os autores acrescentaram mais três perspetivas: clientes, processos internos e aprendizagem e crescimento. O Balanced Scorecard (BSC) pode ser definido como uma framework que permite a integração de indicadores derivados da estratégia, indicadores esses financeiros e não financeiros, em diferentes perspetivas que habilitam ao gestor uma visão global quanto ao desempenho da organização (Pinto, 2009). A ideia por trás do BSC é, como os seus autores Kaplan e Norton (1992) referem manter *"as organizações de olhos postos no futuro e a dirigir-se para ele em vez de olhar para trás"* concentrando a organização na sua estratégia, no caminho que lhe permite ir de encontro à sua visão.
- **Mapa de Estratégia:** O Mapa de Estratégia representa uma evolução crucial em termo de expansão e sucesso do BSC, eliminando as dificuldades iniciais verificadas na identificação de relações causa-efeito entre os objetivos e indicadores das diferentes perspetivas. Kaplan e Norton (2004) definiram Mapa de Estratégia como a *"representação visual da estratégia numa única página, mostrando como esta se encontra articulada para criar valor e quais os objetivos e relações de causa-efeito que a motivam"*, o que "*fornece uma maneira uniforme e consistente de descrever a estratégia, que facilita a definição e gestão de objetivos e indicadores"*, representando o mapa de estratégia "*o elo perdido entre formulação e execução da estratégia"*. Para Person (2009) *"assim como um mapa das estradas mostra o caminho para um destino, um mapa de estratégia mostra que cadeia de objetivos vai levar a que a estratégia seja executada com êxito"*. Pode-se concluir que

o mapa de estratégia e o BSC estabelecem uma ligação entre o nível estratégico e os níveis táticos e operacionais, completando uma relação que vai desde a razão de ser da organização até ao nível do colaborador e o que este contribuí e o que deve fazer para o sucesso da sua organização (Kaplan & Norton, 2004).

- **Flight Plan Organizacional:** Segundo Páscoa (2010) "voar" a organização é semelhante a voar uma aeronave. Com esta metáfora procura-se tratar a Organização como se de uma aeronave se tratasse, a todos os níveis: planeamento, operacional, logística, pessoal, etc. empregando os princípios relacionados com voar baseado numa versão diferente de organização. Voar é planeamento, detalhe, consciência, precisão, aprendizagem, controlo, análise e reporte, em tempo real, estando *"à frente da aeronave"* prevendo e evitando a existência alterações ao planeado que podem resultar de um erro. É por isso necessário começar por saber onde se está (From) e definir exatamente para onde se quer ir (To). Tem que se selecionar pontos intermédios (Wpt) que identificam o regime de progressão. Para Páscoa (2012) o Flight Plan consiste num plano de atividades que, como o próprio nome indica, identifica todas as atividades que a organização desenvolve, num determinado período de tempo e contempla: a identificação da atividade, os recursos envolvidos, e as datas de início e término da atividade. Com o Plano de Atividades é possível: (1) ligar a estratégia com a sua execução, (2) retirar a estratégia a partir do Mapa de Estratégia, (3) fornecer a informação necessária para os indicadores de performance e o grau de concretização dos objetivos do BSC, (4) inserir a dimensão tempo no planeamento, (5) detalhar a utilização específica de recursos. Este conceito adaptado ao contexto organizacional permite a dado instante discriminar quais as atividades que se encontram atrasadas, conforme planeado, ou inclusive adiantadas, qual o seu grau de execução e consequentemente o grau de concretização dos objetivos.
- **Cockpit Organizacional:** Recorrendo à metáfora de Páscoa (2010) um piloto necessita de a qualquer instante saber a sua altitude, velocidade, combustível remanescente, entre outros fatores e indicadores quaisquer que eles sejam para saber se o seu voo está a decorrer como previsto e planeado. Ou seja, o piloto encontra no painel de instrumentos do seu cockpit os indicadores que necessita para poder inferir relativamente ao desempenho do voo, se existe algo fora dos parâmetros normais de operação e se serão necessárias medidas corretivas. Para Rasmussen et al. (2009) o cockpit organizacional pretende produzir o mesmo efeito ao nível organizacional. Segundo Marr (2006) no universo organizacional este tipo de indicadores constituem os *"instrumentos de voo da aeronave"* – organização – e como tal *"ajudam-nos a perceber onde estamos"* e para onde vamos.
- **Quadro de Avaliação e Responsabilização:** O Sistema Integrado de Gestão e Avaliação do Desempenho na Administração Pública (SIADAP) surgiu com o objetivo de (Parlamento, 2007) *"contribuir para a melhoria do desempenho e qualidade de serviço da Administração Pública, para a coerência e harmonia da ação dos serviços, dirigentes e demais trabalhadores e para a promoção da sua motivação profissional e desenvolvimento de competências"*. Como o próprio nome indica, é um quadro referencial sobre a razão de ser e existência dos serviços (missão), dos seus propósitos de ação (objetivos estratégicos), da aferição da sua concretização e da explicitação sumária dos desvios apurados no fim de ciclo de gestão. De entre as diferentes valências que o SIADAP visa avaliar (serviços,

dirigentes e trabalhadores) o Quadro de Avaliação e Responsabilização (QUAR) insere-se no Subsistema de Avaliação do Desempenho dos Serviços da Administração Pública (SIADAP 1) tendo como parâmetros de avaliação dos serviços, a avaliação de desempenho realiza-se com base nos objetivos de: eficácia, eficiência e qualidade. A força Aérea apesar de uma organização de cariz militar, ao serviço de Portugal e dos Portugueses, não se encontra alheia a este sistema de avaliação dos seus serviços públicos (Guedes, 2012). Como tal, aproveitando a necessidade de desenvolver um sistema adequado de gestão estratégica, a integração desta ferramenta permitirá cumprir um requisito legislativo aproveitando uma ferramenta que ela própria funcionará como retrospetiva e perceber como decorreu o "voo" da sua organização.

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Nesta secção pretende-se explicar a lógica de construção de um cockpit organizacional, os fatores críticos para implementação bem como a validação deste modelo.

3.1 Lógica de Construção

A integração dos conceitos e ferramentas referidas na secção anterior, no âmbito da gestão estratégica de performance percebe-se que existe uma sequência estruturada e hierárquica. Da estratégia são definidos vetores ou objetivos estratégicos (OE) que são decompostos em objetivos de segundo nível ou objetivos operacionais (OB) inseridos em cada perspetiva utilizadas nas ferramentas de Kaplan e Norton. Posteriormente estes OB são decompostos em iniciativas ou atividades estratégicas com indicadores próprios e metas a cumprir. Por fim essas iniciativas ou atividades são formadas por um conjunto de ações que se realizam ao nível do colaborador, nas tarefas executadas diariamente.

Com o Cockpit Organizacional (Páscoa, 2012) pretende-se reunir um conjunto de indicadores que permitam aos decisores perceber como decorre a execução da estratégia delineada. Para tal é necessário traduzir em números essa execução, através da medição do desempenho estratégico, para se perceber se está a caminhar para o sucesso ou se existem desvios que impliquem a aplicação de mecanismos de ajuste ou revisões necessárias.

Ao criar as ligações de causa-efeito entre performances e indicadores obtém-se um sistema que articula a estratégia, que permite a comunicação com todos os intervenientes e que promove a constante articulação da estratégia com o meio envolvente da organização. Seguindo uma lógica aritmética se os OE traduzem a estratégia, a soma da concretização dos OE irá traduzir qual a execução da estratégia da organização, tal como demonstrado nas equações 1 e 2:

$$Strategy = \alpha_1 OE_1 + \alpha_2 OE_2 + \cdots + \alpha_n OE_n = \sum_{i=1}^{n} \alpha_n OE_n \quad (1)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \cdots + \alpha_n = \sum_{i=1}^{n} \alpha_n = 1 \qquad (2)$$

Com esta fórmula decompôs-se aritmeticamente a estratégia segundo as varáveis OE que se pretendem calcular e que irão refletir o desempenho estratégico, associado às respetivas ponderações α que traduzem a prioridade e peso estratégico dessa variável. Para calcular o valor das variáveis OE recorre-se às convencionais perspetivas do Mapa de Estratégia para determinar qual o peso de cada OB inserido nessa perspetiva. A equação 3 exemplifica o raciocínio anteriormente referido e a equação 4 tipifica essa relação.

$$OE_1 = \beta_{11} P_1 + \beta_{21} P_2 + \beta_{31} P_3 + \beta_{41} P_4 \qquad (3)$$

$$OE_j = \sum_{j=1}^{4} \beta_{ij} P_i \qquad (4)$$

A tabela 1 ilustra como essa como a relação entre os objetivos ou vetores estratégicos têm em função das dimensões e ou perspetivas convencionais de gestão de Kaplan e Norton.

Tabela 1. Relação entre Objetivos Estratégicos e Perspetivas de Gestão (Guedes, 2012)

		Objetivos Estratégicos			
		OE_1	OE_2	...	OE_j
Perspetivas	P_1	β_{11}	β_{12}	...	β_{1j}
	P_2	β_{21}	β_{22}	...	β_{2j}
	P_3	β_{31}	β_{32}	...	β_{3j}
	P_4	β_{41}	β_{42}	...	β_{4j}
		$\sum_{i=1}^{4} \beta_{i1} = 1$	$\sum_{i=1}^{4} \beta_{i2} = 1$	...	$\sum_{i=1}^{4} \beta_{ij} = 1$

Se a mesma lógica de cálculo for aplicada para determinar o desempenho de cada dimensão ou perspetiva de gestão, será necessário calcular o desempenho entre os OBs inseridos nessa mesma perspetiva como tipifica a equação 5 e que a equação 6 generaliza.

$$P_1 = \delta_{11}OB_1 + \delta_{12}OB_2 + \cdots + \delta_{ij}OB_i \quad (5)$$

$$P_j = \sum_{i=1}^{n} \delta_{ij}OB_i \quad (6)$$

Inclusivamente poderá ser possível relacionar diretamente vetores estratégicos com os OB de cada perspetiva, deduzindo a partir das fórmulas anteriormente apresentadas. Deste modo aplicando aos restantes objetivos estratégicos pode-se obter a tabela 2 que vai estabelecer ponderações às relações de causa-efeito preconizadas no Mapa de Estratégia que permitirão calcular a performance estratégica de uma organização.

Tabela 2. Relação entre Objetivos Estratégicos e Objetivos Operacionais (Guedes, 2012)

		Objetivos Estratégicos			
		OE_1	OE_2	…	OE_j
Objetivos Operacionais	OB_1	δ_{11}	δ_{12}	…	δ_{1j}
	OB_2	δ_{21}	δ_{22}	…	δ_{2j}
	…	…	…	…	…
	OB_i	δ_{i1}	δ_{i2}	…	δ_{ij}
		$\sum_{i=1}^{n} \delta_{i1} = 1$	$\sum_{i=1}^{n} \delta_{i2} = 1$	…	$\sum_{i=1}^{n} \delta_{ij} = 1$

Este raciocínio deverá ser desdobrado e aplicado ao conjunto de iniciativas ou atividades que constituem os OB inseridos em cada perspetiva, bem como às ações ou tarefas que constituem essas mesmas atividades preconizadas no Flight Plan. Com esta lógica é possível criar um alinhamento vertical desde os vetores e objetivos estratégicos até às tarefas e ações de cada departamento, permitindo simultaneamente comunicar aos seus colaboradores qual a estratégia da sua organização e qual sua contribuição para a execução dessa estratégia.

3.2 Fatores Chave

Para criar um verdadeiro sistema de gestão estratégica são necessários dois fatores essenciais para obter um sistema que potencialize os benefícios e de fácil utilização. O primeiro como Person (2009) refere, um sistema desta natureza necessita de recorrer a soluções de *Busines Intelligence* que permitam que múltiplos utilizadores possam rapidamente atualizar o estado de execução das suas ações e tarefas com peso estratégico, bem como facilmente consultar os indicadores de performance de sua responsabilidade, ou da macroestrutura da organização.

O segundo fator está relacionado com a necessidade deste sistema ser em *near real time*, tal como num cockpit da aeronave (Páscoa, 2012), onde o piloto necessita de obter informação dos seus indicadores com o menor *delay* possível. Isto permite que rapidamente perceba como está a decorrer o seu voo para assim aplicar os ajustes necessários. O Mapa de Estratégia e o BSC são ferramentas com grande penetração de implementação a todos os tipos de organizações, tendo como grande vantagem permitir centrar a organização em torno da sua visão e estratégia. Contudo pretende-se obter, não uma fotografia do estado de execução e performance ao fim de determinados períodos de avaliação, mas sim de uma forma constante e contínua. Para tal integra-se ao Mapa de Estratégia e BSC, o Flight Plan Organizacional que descrimina os períodos de início e fim de cada tarefa, fazendo uma comparação com a execução esperada a uma determinada data. Isto permite medir o desempenho relativo a essa ação e consequentemente, devido ao desdobramento e articulação vertical, da estratégia da organização.

3.3 O Modelo e o QUAR

Este sistema de gestão pretende assim integrar diferentes ferramentas que permitam criar um verdadeiro mecanismo de pilotagem da organização, centrado a organização em torno da sua estratégia e acompanhando a sua execução em *near real time*.

Como já referido, o Mapa de Estratégia permite reunir a visão do chefe, a missão da organização, os valores institucionais, as perspetivas ou dimensões de gestão, as linhas estratégicas orientadores, objetivos a cumprir bem como a relação de causa-efeito entre eles para atingir o sucesso. O BSC permitirá decompor os objetivos de cada perspetiva, segundo iniciativas ou atividades, com indicadores e metas a atingir. O Flight Plan vai acrescentar a dimensão tempo ao descriminar as ações que contribuem para essa atividades, segundo entidades responsáveis e prazos a cumprir. A integração destas ferramentas permitirá obter um alinhamento vertical, com o Flight Plan na base que permitirá alimentar e atualizar automaticamente todo o sistema, à medida que os colaboradores e departamentos atualizam a execução das tarefas sob sua responsabilidade. Com o desdobramento aos restantes níveis da organização possibilitará criar um alinhamento horizontal entre os diferentes departamentos que poderão não só perceber qual o desempenho desse departamento ou unidade funcional, bem como da organização como um todo.

Estas três ferramentas integradas permitem verter informação através dos seus indicadores, para um Cockpit Organizacional que graças a esta articulação, personalizável face ao contexto de quem o consulta, nível da organização e granularidade de detalhe desejado.

Com o Cockpit Organizacional pretende-se determinar como se encontra a realização dos objetivos da Organização (onde estamos), o que falta ou deve estar a ser executado, (o que falta) para atingir o objetivo final. Quando se atingir o final do período previsto, a criação de um QUAR que não só permitirá satisfazer os requisitos legais do SIADAP como também fornecer à organização um relatório simples, de construção e lógica similar à do BSC. Este QUAR servirá para reunir resumidamente quais os recursos utilizados em determinado período e quais os resultados obtidos em termos de eficácia, eficiência e qualidade dos serviços prestados pela Organização. A integração da informação no Cockpit possibilitará a elaboração rápida e eficaz, sem perdas de tempo na procura de dados e informação que poderá estar dispersa nos diferentes sistemas da organização.

A fig. 1 ilustra a integração de todas estas componentes.

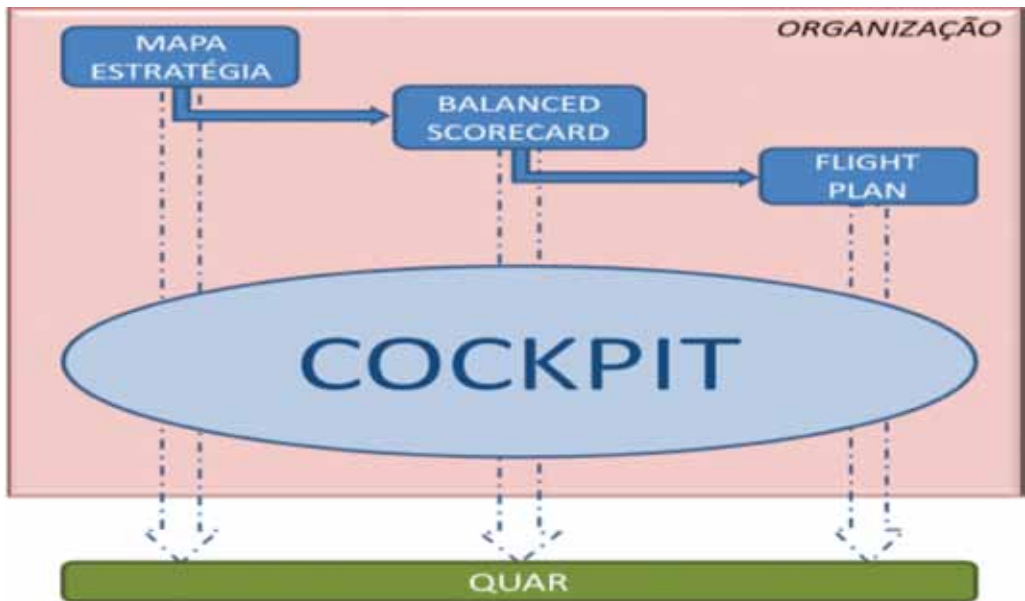



Fig. 1. Cockpit Organizacional (Guedes, 2012).

4. VALIDAÇÃO DO MODELO

Neste parágrafo apresenta-se uma pequena demonstração da integração deste sistema de gestão estratégico. Num hipotético caso, um administrador ao consultar o seu cockpit organizacional, numa determinada data aleatória, verifica que um indicador de vetor estratégico apresenta um desempenho fora dos valores de performance desejáveis. Consulta o Mapa de Estratégia da organização para identificar qual a perspetiva e quais os objetivos que estão a contribuir negativamente para esta performance. Ao identificar qual o objetivo que está a prejudicar esse desempenho, poderá consulta o BSC para observar quais os conjuntos de atividades que estão há quem das metas desejadas. Se pretender acompanhar com um melhor detalhe poderá consultar o *Flight Plan* Organizacional, para perceber qual seria o desempenho esperado face à data de consulta, se existem atrasos (ou inclusive tarefas já adiantadas), quais as entidades, departamentos ou unidades funcionais responsáveis por esse conjunto de ações.

Como é possível constatar este sistema permite uma elevada granularidade que se pretende personalizável face ao utilizador, a sua responsabilidade e competências. Este sistema possibilita como exemplificado observar os indicadores mais estratégicos até a um nível de detalhe aprofundado, próximo dos departamentos e colaboradores. Este sistema de gestão estratégica em *near real time*, a situação exemplificada, apesar de possível pretende-se que seja evitável, uma vez que os responsáveis e decisores nos mais diversos níveis da organização poderiam intervir antecipadamente, evitando uma situação gravemente prejudicial para a execução estratégica. Para tal, identificando possíveis causas, aplicando mecanismos de ajuste e/ou revendo metas se assim necessário face ao contexto aplicado.

O desdobramento em cascata aos diferentes níveis da organização permitirão assim assegurar um alinhamento entre as iniciativas dos diversos departamentos com o sistema macroestrutural da organização bem como que cada departamento possa ter acesso a um sistema que avalie o seu próprio desempenho.

O Mapa de Estratégia bem como o BSC são ferramentas famosas pela sua disseminação e aplicação a todo o tipo de organizações. Para permitir que este sistema seja *near real time* a aplicação do *Flight Plan* assume um papel fundamental. Como prova dessa integração temos o caso do Estado Maior da Força Aérea que, um departamento de assessoria e apoio à decisão do Chefe de Estado Maior da Força Aérea, encontra-se a utilizar esta ferramenta que permite perceber o seu desempenho e potencializar o seu *self-aware*.

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, é possível afirmar que um cockpit organizacional consiste num sistema de gestão estratégica em *near real time*, que fornece aos chefes no caso da Força Aérea, bem como administradores e gestores de qualquer organização, um mecanismo de verdadeira pilotagem estratégica. Permite explanar e comunicar a estratégia da organização a todos os níveis, bem como acompanhar a sua execução e medir o seu desempenho.

Este sistema permite que a organização desenvolva a suas ações em torno da visão do seu líder, e da estratégia delineada para atingir essa visão com sucesso. Consiste num sistema que potencializa a Organizational self-awareness ao fornecer informação aos administradores dados da execução estratégica, uma imagem "para além do horizonte", rompendo com o habitual ciclo anual de orçamentação, que promove um comportamento organizacional tático, de curto-prazo e incremental, uma "navegação à vista" sem destino nem rota definida.

A implementação do Cockpit Organizacional necessita de um forte apoio e patrocínio da liderança para que se transmita a ideia qual a estratégia da organização e que de fato tem um papel preponderante nas ações dos seus colaboradores. O estudo, implementação e revisão deve ser encarregue a uma equipa ou grupo de trabalho multidisciplinar e dos mais diversos departamentos com pessoas com *know-how* relativo a esta temática, para reunir os requisitos necessário dos diferentes departamentos bem como a disseminação da importância de utilização deste sistema e atualização no quotidiano dos colaboradores.

Para implementação, pretende-se que seja criado um Cockpit Organizacional macroestrutural e posteriormente desdobrado aos diferentes níveis e departamentos. Inicialmente, como é o caso da Força Aérea Portuguesa, propõe-se em escolher um departamento para implementar este sistema de modo a retirar ilações para o resto da organização.

Por fim, o Cockpit não é um fim em si mesmo, isto é, é um sistema por si só que garanta o sucesso organizacional. Permite sim, fornecer informação relativa a plano estratégico delineado, isto é, se o "voo" está a decorrer como esperado. Contudo, isso não garante que a estratégia definida seja a mais indicada para a organização. Com isto pretende-se realçar a necessidade das organizações realizarem um intenso estudo de planeamento e reflexão estratégica. Mesmo após a implementação deste sistema deverão reavaliar periodicamente as metas, objetivos e até vetores estratégicos, de forma a garantirem a adequação do plano estratégico ao contexto, realidade e necessidades da organização.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cokins, G. (2004): **Performance Management: Finding the missing pieces** (to close the intelligence gap), John Wiley & Sons, New Jersey.

Guedes, P. (2013): **Construção de Cockpit Organizacional para a Força Aérea**, Tese de Mestrado, Academia da Força Aérea Portuguesa, Departamento de Ensino Universitário, Sintra, Portugal.

Kaplan, R.; Norton, D. (1992): **The Balanced Scorecard – Measures that Drive Performance**; Harvard Business Review – January/February, 1992.

Kaplan, R.; Norton, D. (1996): **The Balanced Scorecard – Translating Strategy Into Action**; Harvard Business School Press; Boston, Massachusetts.

Kaplan, R.; Norton, D. (2004): **Strategy Maps: converting intangible assets into tangible outcomes**; Harvard Business School Press, Boston.

Liles; D.; Presley, A. (1996): **Enterprise Modeling within an Enterprise Engineering Framework**; dezembro 1996.

Macedo, P.; Zacarias, M.; Tribolet, J. (2005): **Técnicas e Métodos de Investigação em Engenharia Organizacional**: Projeto de Investigação em Modelação de Processos de Produção; 6ª Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação; Outubro 2005.

Magalhães, R.; Tribolet, J. (2005): **Engenharia Organizacional: das partes ao todo e do todo às partes na dialética entre pessoas e sistemas**; in Sistemas de Informação Organizacionais, capítulo "Organizações, Pessoas, Processos e Conhecimento: Da Reificação do Ser Humano como Componente do Conhecimento à "Consciência de Si" Organizacional"; Edições Sílabo; novembro 2005.

Marr, B. (2006): **Strategic Performance Management: Leveraging and measuring your intangible value drivers**; Elsevier.

Neely, A. (2002): **The Performance Prism: The Scorecard for Measuring and Managing Business Success**, FT Prentice Hall, Londres.

Osborne, D.; Gaebler, T. (1992): **Reinventing Government: How the Entrepreneurial Spirit is transforming the Public Sector**, Addison-Wesley, Massachusetts.

Parlamento Português (2007): **LEI N.º 66-B/2007. D.R. I Série**. 250 (2007-12-28). 9114-(2), Lisboa, Portugal.

Páscoa, C. (2010): **A AFA e a Engenharia Organizacional**, Lição Inaugural da Cerimónia de Abertura do Ano Letivo 2010/2011, Academia da Força Aérea; Sintra, Portugal.

Páscoa, C. (2012): **Organizational and Design Engineering of the Operational and Support Dimensions of an Organization: The Portuguese Air Force Case Study**; Dissertação de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. 2012.

Person, R. (2009): **Balanced Scorecards and Operational Dashboards with Microsoft Excel**; Wiley Publishing, Inc.

Pinto, F. (2009): **Balanced Scorecard – Alinhar Mudança, Estratégia e Performance nos Serviços Públicos**, Edições Sílabo, Lisboa.

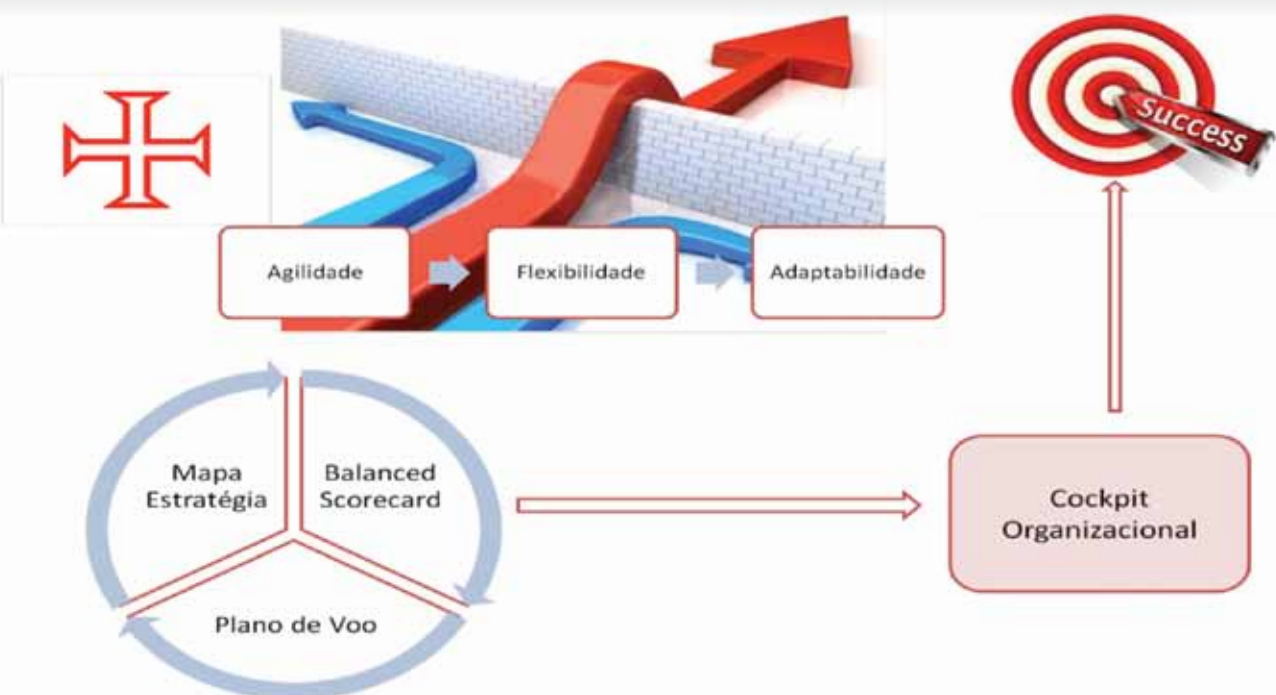
Poister, T. (2003): **Measuring Performance in Public and Nonprofit Organizations**, John Wiley & Sons, New Jersey.

Porter, M. (1996): **What is Strategy**; Harvard Business Review, November/December 1996.

Rasmussen, N.; Chen, C.; Bansal, M. (2009): **Business Dashboards**; New Jersey: John Wiley & Sons.

Vicente, D. (2007): **Towards Organizational Self-awareness: A Methodological Approach to Capture and Represent Individual and Inter-Personal Work Practices**, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.

Zacarias, M., Magalhães, R.; Tribolet, J. (2007): **Making Sense of Enterprise Architectures as tools of Organizational Self-Awareness**, TEAR 2007 - Trends in Enterprise Architecture Research - ECIS 2007 Pre-Workshop, Jun. 2007.

Construção de um Cockpit Organizacional para a Divisão de Operações do Estado Maior da Força Aérea Portuguesa

Autor: Ricardo Horta, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na Especialidade de Pilotagem Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Professor Doutor José Tribolet
Departamento de Engenharia Informática, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
CODE – Center for Organizational Design and Engineering, INESC INOVAÇÃO, Lisboa, Portugal

Co-orientador: Doutor, Carlos Páscoa, Tenente-Coronel Navegador
Divisão de Operações, Estado-Maior da Força Aérea Portuguesa

"Aquele que se empenha a resolver as dificuldades resolve-as antes que elas surjam. Aquele que se ultrapassa a vencer os inimigos triunfa antes que as suas ameaças se concretizem."

(Tzu, 1931)

Resumo: Tal como a história da Humanidade nos tem demonstrado, também a história das Organizações tem sofrido alterações e constantes adaptações ao meio envolvente. Hoje em dia – e cada vez mais – as Organizações têm que ser flexíveis, adaptáveis e ágeis, de modo a poderem enfrentar um futuro cada vez menos constante. Existe uma concorrência forte por parte do mercado, a tecnologia tem sofrido diversificadas alterações e a informação tem tomado um patamar importante no que toca à evolução da Organização. Assim, uma Organização que tenha uma Estratégia delineada e bem estabelecida, toma de avanço as outras Organizações não tão bem preparadas. Neste tópico entra o conceito de *Situacional Awareness*, que pode estabelecer a diferença entre uma Organização preparada para o futuro.
A primeira resposta das Organizações a estes desafios é, então, desenvolver a sua Estratégia e representá-la num Mapa, tendo as ações a executar detalhadas num *Balanced Scorecard* – permitindo uma orientação constante. Para potenciar este *Balanced Scorecard* adiciona-se uma nova dimensão: '*tempo'* criando, assim, o '*Plano de Voo*' da Organização. Assim, com estas ferramentas a funcionar, as Organizações estão preparadas para enfrentar qualquer futuro possível, pois o Cockpit Organizacional, o conceito que as agrega, vai dar uma resposta antecipada de modo a permitir à Organização '*alterar o seu rumo*'. É esta capacidade para alteração de rumo que faz a Organização flexível, ágil e adaptável.

Palavras-Chave: Mapa de Estratégia, *Balanced Scorecard*, *Plano de Voo Organizacional*, Cockpit Organizacional, Engenharia Organizacional, *Organizational Self-Awareness*.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa realizada teve como objetivo a criação, teste e validação do conceito "Cockpit Organizacional" para a Divisão de Operações do Estado Maior da Força Aérea. A pergunta de partida: "A construção de um Cockpit Organizacional cria benefícios capazes de gerar valor para a Organização?". Para responder à pergunta de partida, bem como às questões derivadas, não explicitadas neste documento, foi adotado o método de investigação de Quivy & Campenhoudt. O parágrafo segundo resume os conceitos teóricos associados à realização desta investigação e o terceiro parágrafo descreve o Modelo desenvolvido. Por último, o quarto parágrafo conclui a descrição da investigação.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este parágrafo apresenta um resumo dos conceitos teóricos utilizados os quais se revelaram fundamentais para o desenvolvimento da solução para o problema enunciado.

- **A Engenharia Organizacional.** A Engenharia Organizacional pode ser considerada como "*o corpo de conhecimento, princípios e práticas relacionadas com a análise, desenho, implementação e operação de uma empresa." (Liles & Presley, 1996).*

Num ambiente competitivo, que é, atualmente, a realidade de toda e qualquer Organização, a Engenharia Organizacional disponibiliza um conjunto de princípios e práticas que remetem para uma questão fundamental que expõe o desafio da sua existência: "*Como desenhar e melhorar, numa abordagem holística, todos os elementos associados a uma empresa, através do uso de métodos de análise e de ferramentas, para melhor se conseguir que esta cumpra os seus objetivos estratégicos*." (Macedo et al, 2005).

- ***Self-Awareness*.** É um conceito base em Engenharia Organizacional que possui duas dimensões: i) a dimensão Individual onde se afirma que "*da mesma forma que as pessoas sabem quem são, o que estão a fazer, também devem saber quem elas (e os outros) são na Organização e, o quê e como, elas (e os outros) estão a fazer.*" (Vicente, 2007); ii) a dimensão Organizacional que se "*refere à combinação entre agentes humanos e autómatos, recursos e procedimentos que fornecem à Organização a inteligência necessária para lidar com questões como: Quem são os seus membros? Como é que atuam? O que estarão a fazer agora?*" (Vicente, 2007). Ter noção deste conceito e das suas dimensões é muito importante para a organização, pois uma vez esclarecidas, tenderão a aumentar e a melhorar a sua eficácia e eficiência.
- ***Near Real Time e* Agilidade, Flexibilidade e Adaptabilidade*.*** O conceito de reação em *Near Real Time* "*permite refletir uma correção sobre o movimento, quando um ato influenciador é detetado.*" (Páscoa, 2012). Assim a agilidade é a capacidade de continuamente monitorar as necessidades do mercado, rapidamente responder com novos produtos, serviços ou informação, rapidamente introduzir novas tecnologias e rapidamente modificar os processos de negócio. A flexibilidade consiste na "*capacidade de alcançar o sucesso de diferentes maneiras*." (Alberts & Hayes, 2003). A adaptabilidade é a "*capacidade de alterar a força da organização e dos processos de trabalho quando necessário de acordo com mudanças da sua situação e/ou ambiente*." (Alberts & Hayes, 2003). Por último, o conceito de "*Near Real Time*" é "*essencial para as organizações, pois permite um acesso (quase) imediato de novos dados e informações promovendo assim a autoconsciência, a consciência global e apoio à decisão.*" (Páscoa, 2012).
- **Organizações sem Fins Lucrativos.** São Organizações em que o dinheiro não é a força que as move. A Força Aérea Portuguesa não pode ser considerada como uma Organização sem Fins Lucrativos '*pura*', dado que é, de facto, uma instituição estruturante do Estado, tendo um vínculo governamental. A Força Aérea é organizada, auto-regulada e não distribuidora de lucro, apenas quanto ao voluntariado e de acordo com a Lei do Serviço Militar aprovada pela Lei nº174/99 de 21 de Setembro, poderá tomar-se como uma condição de circunstância pois como diz a alínea 4 do artigo 1º desta mesma lei "*Em tempo de paz, o serviço militar baseia-se no voluntariado*". Deste modo será mais correto enquadrar a Força Aérea no sector público, sendo contudo uma Organização sem Fins Lucrativos.
- ***Knowledge Performance Indicators*.** São "*medidas quantificáveis que traduzem os fatores de sucesso crítico de uma organização*" (Mangas, 2011) e ajudam a organização a definir e a medir o seu progresso até atingir os seus objetivos.
- ***Balanced Scorecard*.** É um método complexo de avaliação e de gestão de desempenho desenvolvido por Kaplan e Norton. É considerado como "*um conjunto de medidas que dá*

aos gestores de topo uma rápida mas compreensiva visão do negócio" (Kaplan & Norton, 2005). O Balanced Scorecard baseia-se em quatro perspetivas: "Financeira", que reflete se as medidas de desempenho financeiro estão a contribuir para atingir os objetivos propostos; "Clientes", que traduz a missão e a estratégia da organização em objetivos específicos que possuem a finalidade de satisfazer os clientes; "Processos Internos", que identifica os recursos e as capacidades necessárias para elevar o nível interno de qualidade da organização; "Aprendizagem e Crescimento", que oferece a infraestrutura que possibilita a consecução dos objetivos nas outras perspetivas.

- **Mapa de Estratégia.** "*Não se consegue gerir aquilo que não é possível medir*" e "*Não é possível medir aquilo que não se consegue descrever.*" (Kaplan & Norton, 2004). Um mapa de estratégia pode ser definido como a "*representação visual da estratégia numa única página, mostrando como esta se encontra articulada para criar valor e quais os objetivos e relações de causa-efeito que a motivam*", o que "*fornece uma maneira uniforme e consistente de descrever a estratégia, que facilita a definição e gestão de objetivos e indicadores*", representando o mapa de estratégia "*o elo perdido entre formulação e execução da estratégia*" (Kaplan & Norton, 2004).
- **Plano de voo Organizacional.** O Plano de Voo Organizacional (Páscoa, 2012) assenta na metáfora "*Voar a Organização*" (Páscoa & Tribolet, 2010) e inclui a dimensão tempo na estratégia da organização de forma a aumentar o *Situational Awareness* em tempo real. O plano de voo é utilizado no seio da aviação militar e permite saber precisamente, para o tempo de voo "t", se a aeronave se encontra adiantada ou atrasada comparativamente com o que foi planeado. Assim, a aplicação do conceito ao contexto organizacional, permite perceber quais as atividades que se encontram atrasadas, qual o grau de execução e consequentemente qual o grau de concretização dos objetivos.
- **Cockpit Organizacional.** O cockpit organizacional (Páscoa, 2012) deve versar os elementos fundamentais de atuação da organização, no caso da Força Aérea: a missão, as aeronaves e as tripulações, ou seja, conter todos os elementos relevantes para a condução da estratégia na prossecução dos seus objetivos definidos e ainda, deter os mecanismos de ajuste que permitam, entre outros, reconhecer quando mudar a configuração ou quando alterar artefactos dentro da configuração (Páscoa, 2012).

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O conhecimento adquirido, resultante da matéria científica estudada, das regras de negócio em vigor e das entrevistas efetuadas, permitiu o desenvolvimento de uma solução para o problema que será apresentada neste parágrafo.

3.1 O Cockpit Organizacional

Com base no que anteriormente foi escrito e tendo como base a metáfora "*Voar a Organização*" (Páscoa, 2010), foi desenvolvido o modelo de Cockpit Organizacional que inclui os conceitos apresentados na Figura 1.

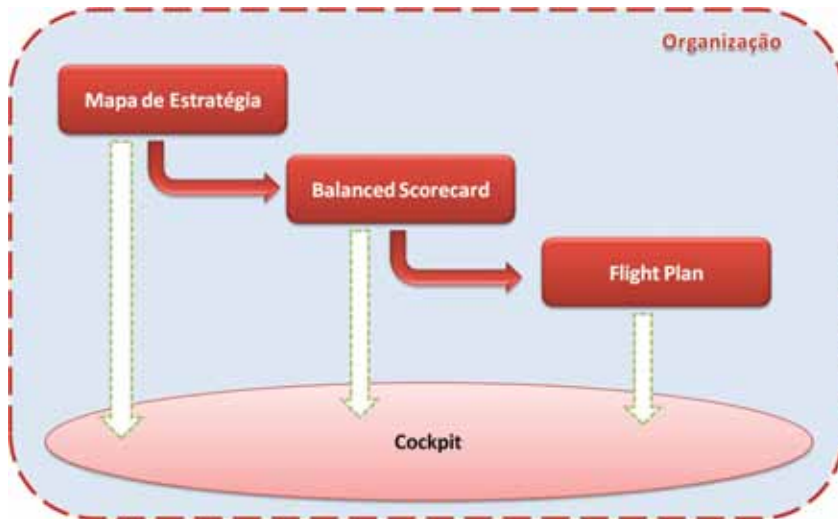



Figura 1: Modelo de Cockpit Organizacional (Horta, 2010).

O conceito Cockpit Organizacional inclui o Mapa de Estratégia que desenvolve a Estratégia, o *Balanced Scorecard* que mede a Estratégia, o *Flight Plan* que mede a Estratégia segundo a dimensão '*tempo'* e o cockpit que apresenta os indicadores essenciais.

O estado AS IS revela a ausência de:

i) planeamento de atividades transversal;
ii) alinhamento com a hierarquia e com as organizações do mesmo nível;
iii) mecanismos de aprendizagem institucionais;
iv) conhecimento, num dado instante, sobre o estado dos objetivos.

Para resolver as deficiências encontradas, este modelo:

i) contribui para a existência de uma completa noção das atividades e do seu alinhamento com outras organizações;
ii) adiciona a possibilidade de se considerarem "*best practices*" no desenvolvimento do planeamento inicial;
iii) contribui significativamente para a existência de um *situational-awareness* global, em qualquer instante, em relação à consecução dos objetivos.

Este parágrafo apresenta, também, a metodologia para o desenvolvimento e aplicação do Modelo à Divisão de Operações. O primeiro passo é a construção de um Mapa de Estratégia. Esse Mapa permite, numa única página, explicar visualmente a Estratégia da Divisão, definindo quais os seus Objetivos Estratégicos (OE) e desenvolver Objetivos Operacionais (OO) em função desses OE.

Posteriormente recorre-se a uma distribuição dos OO pelas diferentes perspetivas utilizando uma ponderação que exprime a importância de cada uma garantindo, obrigatoriamente, uma relação de causa-efeito entre os OO e a concretização dos OE. Os Objetivos Operacionais e as quatro perspetivas devem ter uma ponderação individual para permitir criar indicadores de performance dos Objetivos Estratégicos e determinar qual o seu grau de concretização.

Para incluir a dimensão temporal, é preciso recorrer ao Plano de Voo (Flight Plan), como explicitado na Figura 4, que apresenta, também, o grau de concretização de cada atividade durante o período de execução.

O Plano de Voo apresenta, também, informação referente à entidade responsável e indica o número de tarefas planeadas, realizadas, por fazer e atrasadas permitindo, deste modo, identificar rapidamente o que está atrasado e quem é responsável.

DivOps - Plano de Voo Organizacional

Today | 06-12-2012

Descrição	Data Início	Data Término	% Concretização	Número de Dias	Desvio	Responsável	Planeado	Realizado	Por Fazer	Atrasados
A1-1-1 - Acompanhamento e assessoria ao CEMFA	01-01-2012	31-12-2012	100	304			1	1		
A1-1-1-1 - Apoiar e assessorar o CEMFA no EURAC. Acompanhar o CEMFA às reuniões do EURAC.	01-01-2012	31-10-2012	100	304		RAM				
A2-1-1 - Aumentar a Formação do Pessoal em diversas áreas	01-01-2012	31-12-2012	46,6666667	532	-240		3	1		2
A2-1-1-1 - Apoiar os Colaboradores da DivOps com diversas Ações de Formação	01-01-2012	03-12-2012	20	337	-4	RAM				
A2-1-1-2 - Apoiar os Colaboradores da DivOps com diversas Ações de Formação	01-01-2012	31-03-2012	100	90		ROPS				
A2-1-1-3- Apoiar os Colaboradores da DivOps com diversas Ações de Formação	01-01-2012	15-04-2012	20	105	-236	RAM				

Figura 4: Plano de Voo para a Divisão de Operações (Horta, 2012).

O Cockpit Organizacional, na Figura 5, apresenta os indicadores essenciais ao "voo" da organização.

Figura 5: Cockpit Organizacional para a Divisão de Operações (Horta, 2012).

Embora o protótipo seja desenvolvido em EXCEL, a implantação de um sistema deste género deve estar baseada num sistema de informação que integre as diferentes componentes, articulando-as, à medida que os colaboradores da Organização atualizam, em tempo quase real, o desenvolvimento das suas atividades, de modo a que o sistema esteja sempre atualizado.

3.2 Validação do Modelo

Um aspeto importante para esta proposta de solução, é perceber se a sua estruturação tem um sentido lógico e se é aplicável à organização. Ou seja, é necessário validá-la.

Como já referido anteriormente, o Cockpit Organizacional é constituído pelo Mapa de Estratégia, o Balanced Scorecard, o Flight Plan e o Cockpit.

Na implantação do conceito, a Divisão de Operações adotou inicialmente os temas estratégicos apresentados na Figura 3 selecionando alguns dos objetivos operacionais da Força Aérea no sentido de garantir um alinhamento mínimo com os objetivos globais da Organização. Com a publicação da recente diretiva de planeamento, a Divisão de Operações optou pelo alinhamento global adotando os temas estratégicos, os objetivos operacionais (e a sua distribuição pelas diferentes perspetivas), as atividades da Força Aérea, definindo as ações, os indicadores e as metas no *Balanced Scorecard* (ver Figura 3) e a sub-ação e o limite temporal no Plano de Voo (ver Figura 4) e, finalmente, desenvolvendo um cockpit próprio (a Figura 5 apresenta um exemplo puramente académico).

Desta forma foi conseguido:

i) o alinhamento com o planeamento de atividades transversal dentro da própria Divisão;
ii) o alinhamento com a hierarquia e com as organizações do mesmo nível atento que foram adotados os temas estratégicos, os objetivos operacionais e as atividades identificadas na diretiva de planeamento;
iii) que a estratégia da Divisão refletisse a aprendizagem institucional na definição das ações, indicadores, metas e sub-ações;
iv) o conhecimento, num dado instante, sobre o estado dos objetivos, dado que o Plano de Voo reflete o número de ações completadas, não completadas e dentro destas, as atrasadas;
v) que exista um mecanismo de atribuição de responsabilidade às tarefas a executar permitindo saber quem deveria executar uma sub-ação que está atrasada.

Para a implantação na Divisão foi necessário sensibilizar o pessoal para o conceito e a sua operacionalização. Nesta altura, o cockpit organizacional está completamente preenchido e está em teste.

O Cockpit Organizacional da Divisão de Operações aproxima a gestão da Organização ao voo e controlo de uma aeronave preconizado pela metáfora "Voar a Organização" (Páscoa, 2012), permitindo saber onde se encontra e qual a '*rota*' que está a percorrer para chegar ao destino mantendo a viabilidade e a performance.

Um exemplo de aplicação prática do uso de instrumentos de situational awareness, inseridos como ações, indicadores e metas no Cockpit Organizacional da Divisão de Operações é o Índice de Eficácia Operacional Global (Páscoa et al, 2012) que representa, num único valor situado numa escala, o progresso das atividades. Tal como numa aeronave, que tem uma emergência em voo, consegue-se saber a causa da mesma e apurar os responsáveis pela falha. Facilmente se consegue fazer o mesmo numa Organização que utilize este Cockpit. Assumindo que a meio do ano a estratégia deve estar 50% concretizada, mas no Cockpit só aparece a estratégia a 45%, facilmente se pode descobrir onde ocorre essa lacuna. Recorre-se ao *Flight Plan* para se descobrir quantas e quais as atividades em atraso, ou seja, que na presente data deviam estar realizadas. Através dessa busca cujo filtro é '*atividades atrasas'*, insere-se um filtro secundário referente ao '*responsável'* e assim se percebe em tempo real qual as atividades em atraso, bem como os responsáveis pelas mesmas.

4. CONCLUSÃO

A investigação realizada, com o objetivo de adotar o conceito de Cockpit Organizacional e aplicá-lo ao contexto da Divisão de Operações. O conceito permite que a organização onde é aplicado valorize a sua Estratégia, definindo-a corretamente e corporizando-a num documento único onde a Missão, a Visão, Os Objetivos e a Estratégia façam parte do quotidiano dos seus membros e constituam um "mapa" que os possa guiar na obtenção dos fins pretendidos facilitando a comunicação e incentivando a importância da função individual no seio da organização.

A aplicação do Cockpit Organizacional, nas componentes Mapa de Estratégia, Balanced Scorecard, Plano de Voo e Cockpit, acrescenta eficiência e eficácia à organização trazendo os benefícios identificados antes.

Na realidade, se a Estratégia e as Ações forem clarificadas, o Cockpit Organizacional vai criar valor ao gerar foco e alinhamento quanto aos esforços orquestrados da organização na obtenção do que pretende. Naturalmente, a implantação do conceito na organização deve ser precedido de ações de formação desfasadas e contínuas. Uma vez implementado, a organização pode chegar dentro do prazo estipulado à sua meta (claramente visível no *Flight Plan*), sem nunca descurar a Missão e a Visão (ambas descritas no Mapa de Estratégia).

Assim, com uma total interligação entre o Mapa de Estratégia (que descreve a Estratégia), o *Balanced Scorecard* e o *Flight Plan* (que medem a Estratégia), o Cockpit (que permite ver o estado essencial da organização) ganha total independência, no sentido em que estará sempre atualizado proporcionando, em *Near Real Time*, o *Situational Awareness* necessário para fazer correções sempre que necessário.

A resposta à pergunta de investigação "A construção de um Cockpit Organizacional cria benefícios capazes de gerar valor para a Organização?" é afirmativa já que o Modelo permite o alinhamento com o planeamento de atividades transversal, dentro da própria Divisão, com a hierarquia e com as organizações do mesmo nível. Permite, ainda, refletir a aprendizagem institucional na definição das ações, indicadores, metas e sub-ações. Permite, também, potenciar o conhecimento, num dado instante, sobre o estado dos objetivos, e o conjunto de ações que estão atrasadas identificando, através de um mecanismo de atribuição de responsabilidade, qual a entidade que as deveria ter completado.

As vantagens da aplicação do Modelo refletem, também, os princípios e conceitos da Engenharia Organizacional, nomeadamente o conceito de *self-awareness*, nas dimensões individual e organizacional, através do conhecimento da organização sobre o que os seus membros estão a fazer e o conhecimento de cada indivíduo em como é que contribui para o esforço comum.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberts, D.; Hayes, R. (2003): **Power to the Edge: Command and Control in the Information Age**; CCRP Publication Series.

Horta, R. (2012): **Construção de um Cockpit Organizacional para a Divisão de Operações do Estado Maior da Força Aérea**, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre; Departamento de Ensino Universitário; Academia da Força Aérea; Sintra.

Kaplan, R.; Norton, D. (2004): **Strategy Maps: Converting Intangible Assets into Tangible Outcomes**; Harvard Business School Publishing Corporation; 2004.

Kaplan, R.; Norton, D. (2005): **The office of strategy Management**, Harvard Business Review, Outubro 2005.

Liles; D.; Presley, A. (1996): **Enterprise Modelling within an Enterprise Engineering Framework**.

Macedo, P.; Zacarias, M.; Tribolet, J. (2005): **Técnicas e Métodos de Investigação em Engenharia Organizacional**: Projecto de Investigação em Modelação de Processos de Produção; 6ª Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação.

Mangas, P. (2011): **Análise do Regime de Esforço: Componentes e Aplicação**; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre; Departamento de Ensino Universitário; Academia da Força Aérea; Sintra.

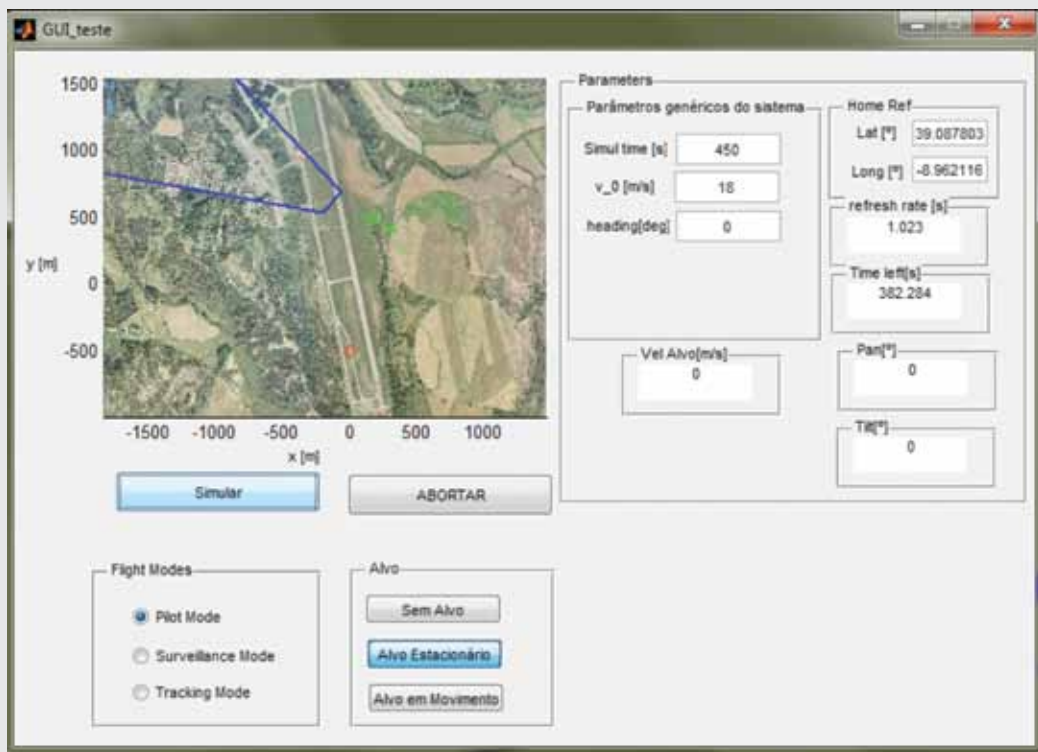
Páscoa, C. (2012); **Organizational and Design Engineering of the Operational and Support Dimensions of an Organization: The Portuguese Air Force Case Study**, Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Páscoa, C.; Moreira, M.; Tribolet, J. (2012): **Effectiveness Index as an Organizational Cockpit Instrument**, Procedia Technology Volume 5, 2012, Pages 244–253, 4th Conference of ENTERprise Information Systems – aligning technology, organizations and people (CENTERIS 2012).

Páscoa, C.; Tribolet, J. (2010): **Organizational and Design Engineering of the Operational and Support Components of an Organization: the Portuguese Air Force Case Study**, SPRINGER Lecture Notes in Business Information Processing (LNPIB) Series on Minutes of the Practice-driven Research on Enterprise Transformation (PRET) Conference on Enterprise Engineering held in the University of Delft, The Netherlands, November 2010.

Tzu, S. (1931): **The Art of War of Sun** (Tzu) and Wu (Ch'i), Shanghai.

Vicente, D. (2007), **Towards Organizational Self-awareness: A Methodological Approach to Capture and Represent Individual and Inter-Personal Work Practices**, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.

Desenvolvimento de Controlo Fly-by-Camera para UAV

Autor: Tiago Branco, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado
na especialidade de Pilotagem Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Doutor, José Morgado, Tenente-Coronel Engenheiro Eletrotécnico
Director do Centro de Investigação, Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Co-orientadores: Tiago Oliveira, Tenente Engenheiro Eletrotécnico
Gonçalo Cruz, Tenente Engenheiro Eletrotécnico
Centro de Investigação, Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Resumo: Neste artigo apresenta-se o sistema "*Fly-by-camera*" desenvolvido para as aeronaves do projecto *PITVANT*. O sistema implementado permite a um operador, através de *inputs* num periférico, controlar a orientação de uma *gimbal* a bordo, com vista à execução de missões de vigilância e seguimento de objectos de interesse (estáticos ou móveis). Este sistema possui uma estrutura modular, que permite a sua fácil aplicação em qualquer aeronave do projecto *PITVANT*.
É descrito o sistema implementado, nomeadamente a consola de comando e controlo, as ferramentas de *software*, funções de controlo implementadas e o *hardware* utilizado. Testes em laboratório com *hardware-in-the-loop* permitiram demonstrar as capacidades implementadas.

Palavras-chave: UAV, "*Fly-by-camera"*, vigilância e seguimento de alvos, PITVANT.

1. INTRODUÇÃO

Os veículos aéreos não tripulados (*UnmannedAerialVehicle* – UAV) sempre foram vistos como uma mais-valia para aplicações militares, já desde a primeira grande guerra mundial com o *SperryAerial Torpedo* (controlado por rádio) (NOVA WebSite, 2002) ou o *Kettering Aerial Torpedo* (ataques a alvos pré programados) (NOVA WebSite, 2002). No entanto, a expansão da sua utilização apenas se deu no Vietname com aeronaves não tripuladas em missões de vigilância, controladas remotamente por pilotos em terra (NOVA WebSite, 2002). Embora, actualmente, grande parte das aeronaves não tripuladas usadas ainda sejam militares, a nível civil e principalmente no ramo da vigilância, os UAV começam a ter grande aplicabilidade como é exemplo de missões de monitorização ambiental, vigilância dos fogos florestais ou de fronteiras entre outras (Blyenburgh, 2008).

No contexto das operações de vigilância com UAV, a capacidade de um operador de sistemas poder controlar diretamente os seus sensores é fundamental. Embora no âmbito do Projeto de Investigação e Tecnologia em Veículos Aéreos Não Tripulados (PITVANT), a decorrer no Centro de Investigação da Academia da Força Aérea (CIAFA), a capacidade "*Fly-by-camera*" já exista recorrendo a sistemas proprietários, esta só pode ser explorada com a aquisição de *software* e *hardware* cujas licenças acarretam custos relativamente elevados.

Assim sendo, este trabalho realizado tem os seguintes objectivos:

- Criação de um interface para controlo "*Fly-by-camera*" para operadores de sistemas UAV;
- Implementação de controladores de atitude e orientação de *gimbals* para missões de vigilância;
- Desenvolvimento de um sistema modular de baixo custo, que poderá ser utilizado independentemente do piloto automático da aeronave.

No sistema implementado, o operador de sistemas estará dedicado ao controlo do *payload* de forma a manter o objecto de interesse no centro da imagem recolhida pelo UAV, sendo a trajectória da aeronave alterada de forma indirecta, com o objectivo de diminuir o seu *workload*. Desta forma, o operador possui o controlo directo sobre os sensores da aeronave e as funções de manutenção dos parâmetros de voo como altitude, velocidade ou atitude são controlados de forma indirecta.

Nos dias de hoje as aeronaves não tripuladas estão a evoluir para um novo interface através de consolas de comando e controlo sem comando directo sobre as superfícies da aeronave. Actualmente UAV como o *GlobalHawk* utilizam este tipo de sistema e interface (Wilson, 2002). O trabalho realizado por Lee et al. (2007), apresenta uma implementação com a utilização de um *quadrotor* para missões de vigilância. A câmara utilizada encontra-se numa posição fixa no que diz respeito à aeronave, mas pode ser alterada entre duas posições fixas: *Tilt-Roll gimbal* (câmara a apontar para frente) e *Pan-Tilt* (câmara a apontar para baixo). O operador define a orientação desejada para a câmara e o controlador realiza o restante trabalho de alteração de atitude da aeronave. No trabalho de Stolle, et al., (2003), foram estudados algoritmos de seguimento para trajectórias circulares em torno de um alvo estacionário. Embora estes algoritmos necessitem de conhecer previamente a posição GPS do alvo, são também propostas técnicas de georreferenciação com base na imagem captada. No trabalho de Quigley, et al, 2004 estudam-se e comparam-se vários interfaces diferentes para controlar mini-UAV: PDA/ Laptop, comandos de voz, ícones físicos e parâmetros numéricos.

Da literatura aqui revista, e dados os objectivos propostos na realização deste trabalho, a solução para a orientação da câmara a bordo do UAV será manipulação directa do sensor (câmara), com alteração indirecta da trajectória da aeronave.

2. ARQUITETURA DO SISTEMA

A Figura 1 apresenta a estrutura global do sistema implementado. O operador actua sobre um *Joystick* que se encontra ligado ao computador. A partir deste, através de uma janela de operação desenvolvida para o efeito, e através do *Joystick,* dependendo do modo de seguimento selecionado*,* controla a orientação da *gimbal* a bordo da aeronave e/ou a trajectória da aeronave. As referências de controlo (velocidade, atitude e altitude) para o piloto automático a bordo da aeronave são enviadas através de uma estação no solo (*GroundStation - GS*) por uma conexão UHF de 2.4GHz. As referências de orientação da *gimbal* em relação aos eixos da aeronave (*pane tilt)*, são enviadas via WiFi (protocolo UDP), para um computador de bordo (construído segundo o *form factor* PC104 (Diamond Systems)) no interior da aeronave. O computador de bordo (Diamond Systems) converte a mensagem recebida para código binário e transmite-a via porta série para um *Micro Serial Transmitter* (MST) que controla os servos da estrutura mecânica (*gimbal* - estrutura mecânica que suporta e orienta a câmara). A câmara transmite a imagem captada de volta para o computador no solo, através de um *link* de vídeo dedicado. No sistema implementado, esta imagem é o único *feedback* existente em relação à posição relativa da *gimbal*, não existindo *hardware* a bordo que verifique directamente na mesma, os ângulos efectivamente impostos pelos servos.

3. MODOS DE FUNCIONAMENTO

No âmbito deste trabalho, foram desenvolvidas formas distintas de operar o sistema "*Fly-by-camera"* nomeadamente os modos Piloto, Vigilância e Seguimento.

3.1. Modo Piloto

No modo piloto, o operador usa um *Joystick* para controlar exclusivamente o pranchamento da aeronave. O controlo de altitude e velocidade da aeronave é realizado pelo piloto automático a bordo da mesma, reduzindo a carga de trabalho por parte do operador e assegurando que os parâmetros de altitude e velocidade se mantêm constantes durante o voo. Neste modo a *gimbal* é alinhada com o eixo longitudinal da aeronave. Este modo possibilita um controlo da orientação da aeronave sem sobrecarregar o operador com o controlo directo dos restantes parâmetros da aeronave, podendo assim concentrar-se nos dados que recebe da câmara a bordo. Desta forma, a aeronave desloca-se entre pontos de interesse com o mínimo de carga de trabalho por parte do operador.

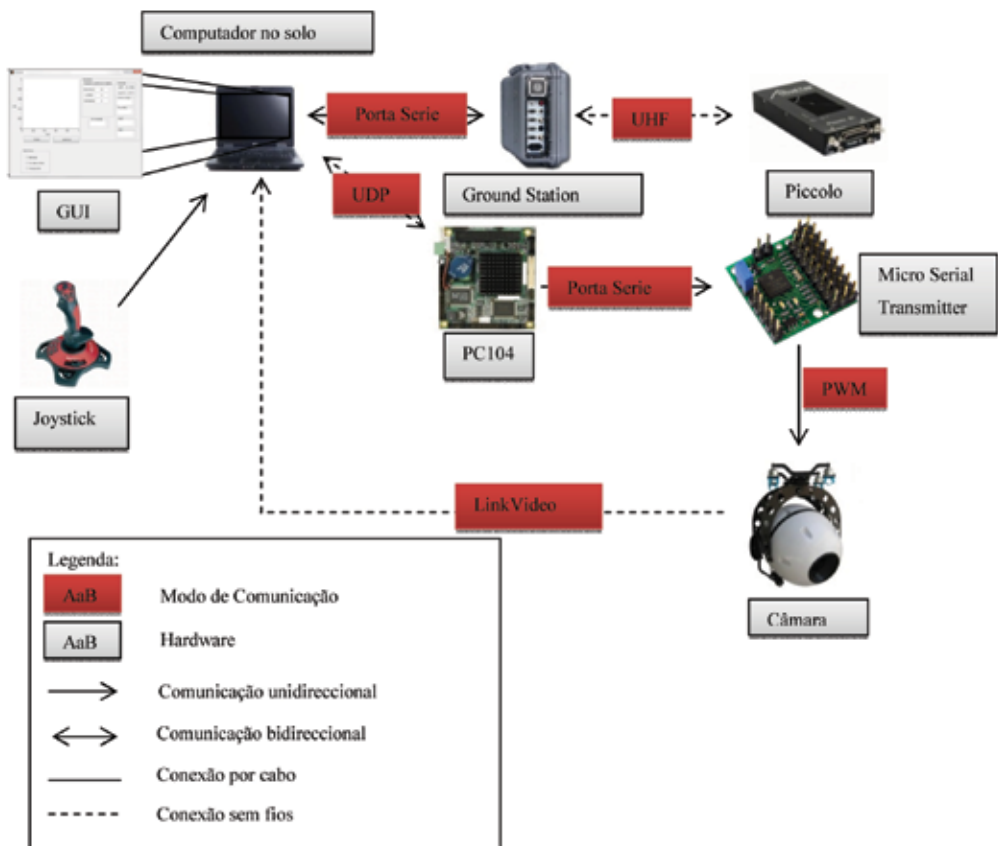



Figura 1: Estrutura detalhada do sistema.

3.2. Modo Vigilância

Neste modo, a aeronave segue uma trajectória previamente definida pelo operador, mantendo a sua velocidade e altitude constantes. Através de um *Joystick*, o operador controla a orientação da *gimbal* a bordo. A aeronave segue a rota definida na consola de operação. Caso esta rota seja alterada no decorrer da missão, a aeronave automaticamente adoptará a nova rota

estabelecida. Desta forma, o operador pode controlar a câmara livremente e alterar a rota do UAV consoante a sua necessidade, sendo estas tarefas completamente independentes.

3.3. Modo de Seguimento

No modo de seguimento, o operador opera a *gimbal* livremente através do *Joystick* e indirectamente, são enviadas referências ao piloto automático de modo a que a aeronave adopte a trajectória mais adequada para manter o objecto de interesse sobre vigilância. Desta forma, a única preocupação do operador é o objecto em questão. Assim, o operador tem simplesmente de manter o alvo dentro do alcance visual da câmara, e a aeronave assume uma trajectória tal que permite manter o alvo centrado na imagem recebida. O UAV irá manter a sua rota enquanto os valores de azimute da *gimbal* forem reduzidos. A partir do momento que estes valores entram dentro de limites pré-estabelecidos, o controlador indirecto da trajectória do UAV é activado e a aeronave altera a sua trajectória de acordo com a orientação da própria *gimbal*.

A heurística do algoritmo neste modo é a seguinte:

$$Rumo = \begin{cases} Rumo_{(i+1)} = Rumo_i & Pan \leq 80º \\ Rumo_{(i+1)} = Rumo_i + \Delta Pan \times sgn(pan) & Pan \in]80º, 90º] \\ Rumo_{(i+1)} = Rumo_i + sgn(pan) \times (G + \Delta Pan) & Pan > 90º \end{cases} \quad (1)$$

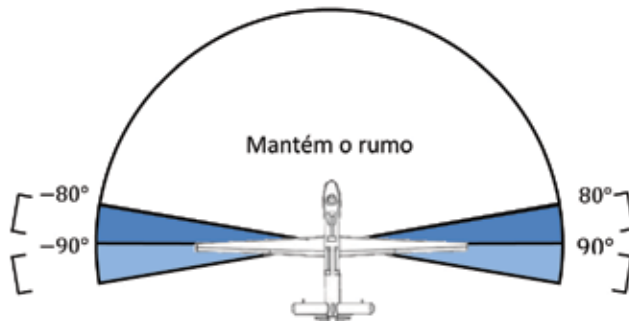



Figura 2: Esquemático da Heuristica

´A heurística definida para este modo encontra-se dividida em três partes: *pan* maior que 80º e *pan* maior que 90º. Abaixo de 80º de *pan*, a nova referência de rumo mantém-se igual à anterior. Quando, durante o seguimento, o operador altera o valor angular de *pan* da *gimbal* de tal forma que este ultrapassa os 80º, o rumo da aeronave sofre a mesma alteração (em graus) que a *gimbal* em cada iteração. Se o valor angular de *pan* ultrapassar 90º, o rumo da aeronave sofre adicionalmente um incremento de 10 graus (consoante o lado onde a *gimbal* se encontra orientada em relação à aeronave.

4. IMPLEMENTAÇÃO

4.1. Software

Para implementar este sistema, foram desenvolvidas duas componentes distintas de *software*: um *Graphical User Interface* (GUI) como consola de comando e controlo do sistema e um sistema de processamento de sinal a bordo da aeronave.

O GUI permite ao operador iniciar ou terminar a missão e seleccionar o modo de funcionamento desejado. Adicionalmente, disponibiliza diversas informações ao operador como os ângulos de *pan*e *tilt*da câmara, velocidade da aeronave, velocidade do alvo, taxa de actualização dos dados, a posição da aeronave em relação ao mapa da área, e o *footprint* da imagem no solo. Esta última funcionalidade permite ao operador conhecer a zona cuja câmara se encontra a vigiar.

Para calcular o *footprint* da câmara foram definidos 3 sistemas de eixos: inercial (I), aeronave (B) e *gimbal* (G) que se encontram ilustrados nas Figuras 3 e 4.

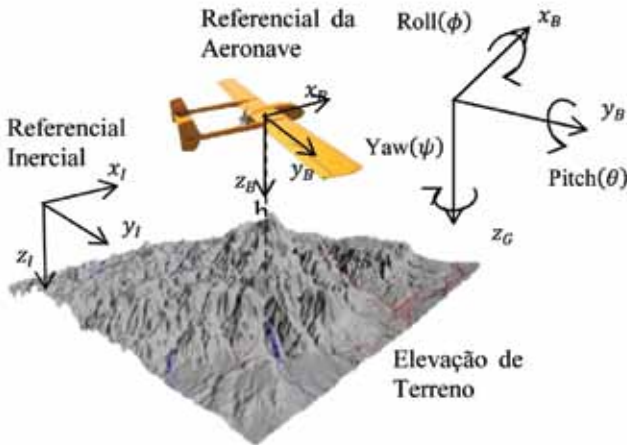



Figura 3: Referencial Inercial e referencial da aeronave.

Figura 4: Referencial da Gimbal.

De forma a representar o *footprint* da imagem captada no solo, são calculadas as posições no solo das quatro extremidades do campo de visão da câmara de acordo com nomenclatura apresentada na Figura 5.

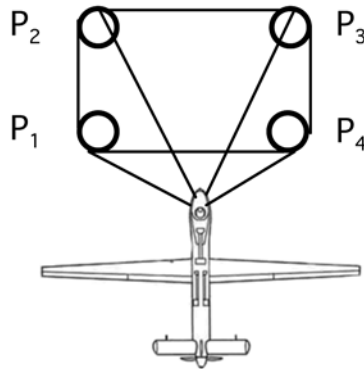



Figura 5: Numeração dos pontos limites do campo de visão.

As coordenadas dos pontos são calculadas a partir das componentes dos respectivos vetores em relação ao referencial da *gimbal*. De seguida é necessário escrevê-los em relação ao referencial inercial, cuja origem se considera coincidente (nesta fase) com o sistema de eixos da *gimbal*. Para tal são usadas 2 matrizes rotacionais. A primeira matriz converte os vectores do referencial da *gimbal* para o referencial da aeronave. A segunda matriz converte estes vectores para o referencial inercial onde ${}^{I}R_{G}$ é a matriz de rotação do referencial da *gimbal* para o referencial inercial (Eq. (2)). A Eq. (3) representa o cálculo da posição final dos vectores $\vec{v}$ escritos a partir do referencial da *gimbal* para o referencial inercial e somados à posição da aeronave no referencial inercial.

$$ {}^{I}R_{G} = {}^{I}R_{B}(\phi, \theta, \psi) \times {}^{B}R_{G}(pan, tilt, \mathbf{0}) \quad (2) $$

$$ {}^{I}\vec{v}_{i} = {}^{I}R_{G} \times {}^{G}\vec{v}_{i} + {}^{I}pos_{B} \quad (3) $$

O *software* de processamento de sinal para controlo mecânico da *gimbal* deverá correr no computador de bordo. Este *software* tem como objectivo converter os dados enviados do solo para sinais (PWM – *Pulse Width Modulation*) que o controlador de servos da *gimbal* reconheça. Este *software* foi implementado na ferramenta *Simulink* do MATLAB (MATLAB, 2012). Após receber os dados que são enviados via UDP, o sinal (referência angular de *pan* e *tilt*) é convertido num sinal do tipo PWM. Após a sua conversão para sinais do tipo PWM, é necessário encapsular essa informação segundo o protocolo de comunicação do controlador de servos e enviá-la via porta série em formato binário. O controlador usado é denominado de *Micro Serial Servo Controller* (SSC) (Pololu, 2012) com o protocolo definido pelo fabricante (PololuMode)(Pololu, 2005).

De forma geral o tratamento de dados é realizado de acordo com a Figura 7 para o modo piloto e de acordo com a Figura 6 para os restantes modos. O sinal proveniente do *joystick* varia entre -1 e 1 e é adimensional (Ad). Todos os ganhos introduzidos no controlador correspondem a graus por segundo ($^{o}/_{s}$), visto que o sistema actualiza, aproximadamente, uma vez a cada segundo (1Hz).

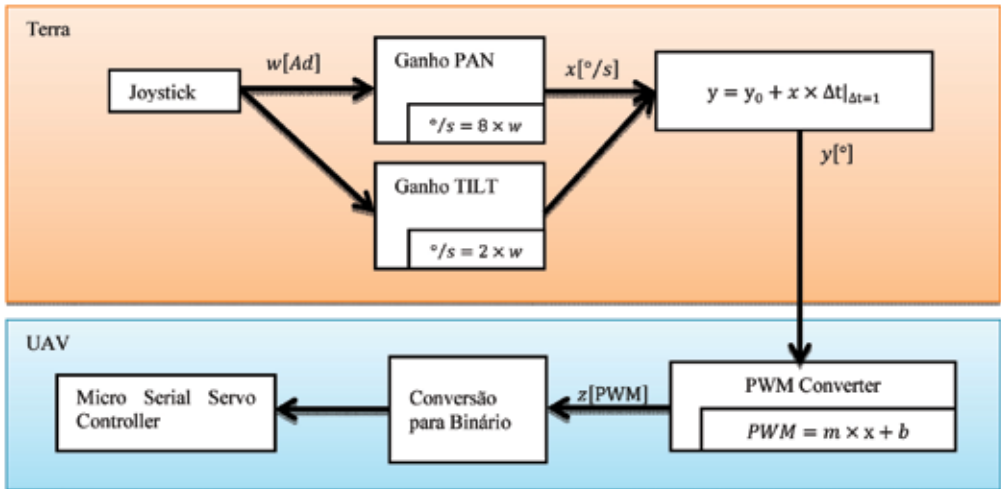



Figura 6: Processamento de sinal para controlo de deflexão de Gimbal.

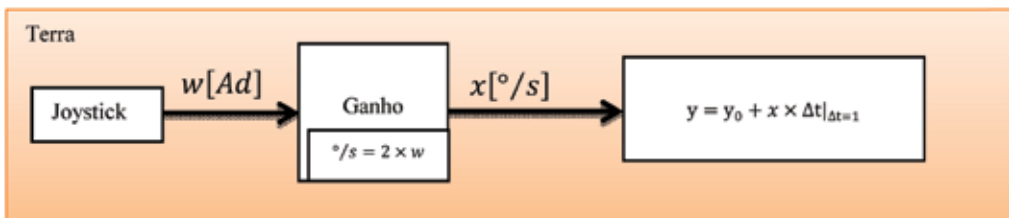



Figura 7: Processamento de sinal para controlo de deflexão de pranchamento.

5. TESTES DE VALIDAÇÃO

5.1. Software

5.1.1. Modo Piloto

A Figura 7 representa o comportamento da aeronave quando sujeita a múltiplas alterações de referência de pranchamento (*control doublets*). Verifica-se que o intervalo de tempo entre a alteração do pranchamento pelo operador e a aeronave começar a alterar o seu pranchamento, é de aproximadamente um segundo, o que corresponde essencialmente à taxa de actualização dos dados entre a consola de operação e a aeronave. É relevante enfatizar que, tratando-se de um ambiente de simulação, a informação que é apresentada não quantifica os atrasos nas comunicações.

Este teste permitiu também verificar que a alteração consecutiva (oscilatória) das referências de pranchamento, não induzem nenhum comportamento instável na aeronave.

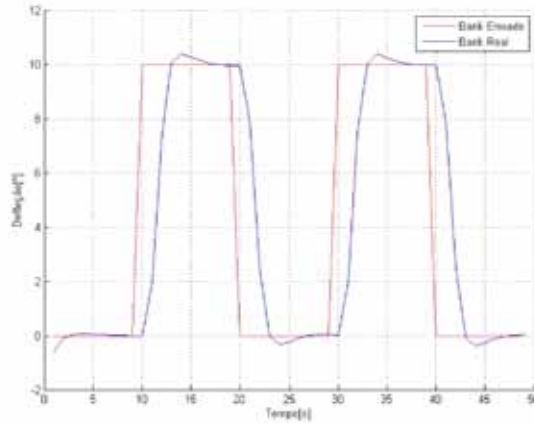



Figura 8: Pranchamento de referência vs. Pranchamento real com múltiplas alterações.

5.1.2. Modo Vigilância

A presente secção pretende validar o cálculo do *footprint* (área no solo correspondente à capturada pela câmara) comparando a solução do sistema implementado com o seu valor expectável. Para tal, foram testadas diversas situações onde é possível prever com alguma certeza a posição dos pontos relativamente à aeronave. Neste artigo serão apenas apresentados três situações diferentes, de um total de sete, que permitiram validar o sistema.

A situação 1, ilustrada na Figura 9, representa o caso mais simples onde a câmara está apontada directamente para baixo da aeronave (eixo $\vec{x}_G$ paralelo a $\vec{z}_B$ e perpendicular ao plano $x_I O y_I$) e sem qualquer alteração de azimute. Desta forma é esperado que o *footprint* da câmara seja um rectângulo cuja projecção no solo é proporcional aos parâmetros de campo de visão (*field of view*) da câmara. As situações 2 e 3 representam o *footprint* para diferentes combinações de atitude da aeronave mas a mesma orientação relativa da *gimbal*, conforme ilustrado na Figura 10.

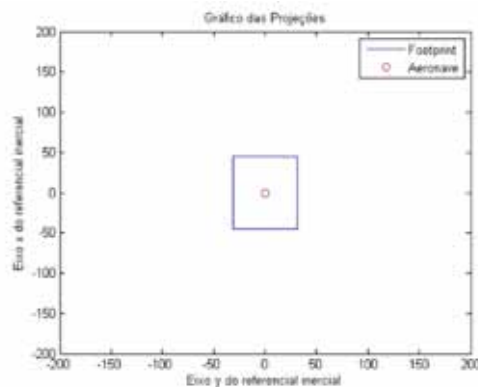



Figura 9: Teste de validação do footprint da câmara – Situação 1.

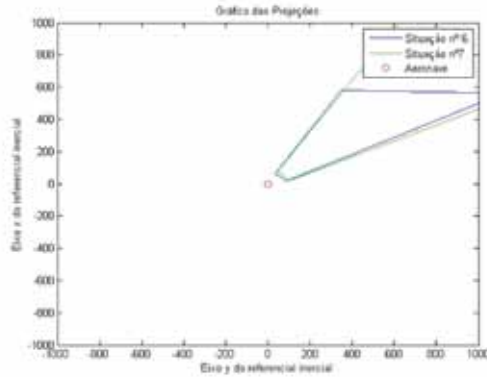



Figura 10: Teste de validação do *footprint* da câmara – Situação 2 e 3.

5.1.3. Modo Seguimento

Esta secção apresenta alguns ensaios que foram realizados com o algoritmo de seguimento em simulação de *software*. Para validar o algoritmo foram realizados 2 testes em diferentes condições. O *footprint* apresentado na Figura 11é correspondente ao verificado a cada 40 segundos de simulação.

Em baixo são apresentados os resultados no teste com um alvo em movimento. Denote-se também que, excepto na primeira fase, o alvo se encontra sempre dentro do campo de visão da câmara significando que o operador nunca perde o alvo de vista durante o seguimento. Tal como no caso anterior, para validação do modo de seguimento, assume-se que a posição do alvo é conhecida e que o operador identifica sempre o alvo desde que este se encontre dentro do *footprint* da câmara.

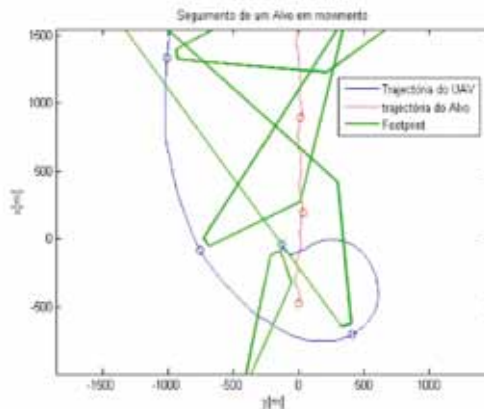



Figura 11: Seguimento de um alvo em movimento.

A Figura 12 apresenta dados de rumo, tanto da aeronave como da *gimbal,* para esta mesma simulação. Tal como foi apresentado anteriormente, a simulação inicia-se com a *gimbal* orientada na mesma direcção da aeronave, e como tal a diferença entre rumos é nula. Quando o azimute da *gimbal* ultrapassa 80º em relação à aeronave, a orientação da *gimbal* e da aeronave ficam acopladas. Caso contrário, à semelhança do que acontece com o modo de vigilância,

a alteração dos comandos de *Joystick* apenas varia a orientação da *gimbal*. Este modo de funcionamento tem como objectivo obter trajectórias suaves e intuitivas para o operador, de tal forma que a trajectória da aeronave só seja efectivamente alterada quando o rumo relativo entre a aeronave e o alvo é suficientemente elevado, justificando uma alteração no rumo da mesma. Esta estratégia permite uma maior aproximação entre a aeronave e o alvo, com uma carga de esforço reduzida sobre o controlo do *Joystick* (menos inputs por intervalo de tempo) e sobre a atitude da aeronave (baixo *workload* necessário).

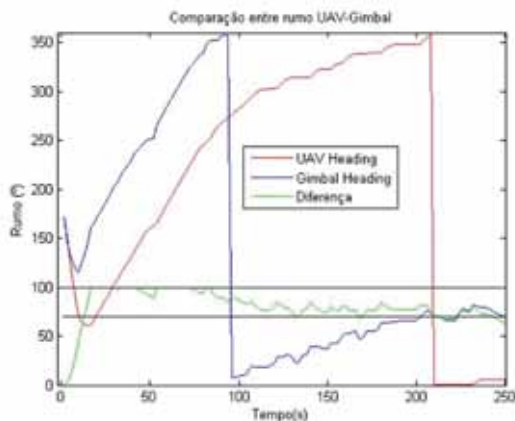



Figura 12: Comparação entre rumos UAV - *Gimbal*

5.2. Hardware

Esta secção apresenta os testes realizados para validação das comunicações entre o diverso *hardware* utilizado pelo sistema "*Fly-by-camera*" descrito neste artigo. Estes testes foram divididos em 5 fases diferentes. Dado o sistema proposto incluir o uso de um *Joystick,* foi necessário, na primeira fase, estabelecer comunicação entre um computador e um *Joystick*. Desta forma, foi implementado em código MATLAB um algoritmo recebesse e apresentasse os dados recebidos.

Para testar o controlador dos servos, implementou-se na ferramenta *Simulink* do MATLAB um algoritmo que enviasse as referências de orientação dos servos via USB e porta série. O controlador foi implementado em *Simulink* pois seria esta a ferramenta utilizada na sua versão final, para exportar o código para o computador de bordo. A informação obtida a partir do *Joystick* foi convertida em graus e, posteriormente, em PWM sendo finalmente encapsulada segundo o protocolo de comunicação do controlador de servos. O sucesso do estabelecimento da comunicação observou-se através da movimentação dos servos de acordo com o desejado.

A comunicação entre a consola de comando e controlo e o computador de bordo foi estabelecida via cabo de rede. Utilizou-se a livraria *xPC target* do *software* MATLAB (MATLAB, 2012) para compilar e enviar o modelo *Simulink* para o computador de bordo (também designado neste artigo por PC104). Este último encontrava-se ligado a um monitor, de forma a observar e analisar a correcta recepção dos dados enviados. Após a comunicação entre o computador e o PC104 ser estabelecida com sucesso, foi testado o envio de dados através das portas de comunicação (COM) do PC104.

Para testar a comunicação entre todo o sistema, este foi montado de acordo com a arquitetura descrita na Secção 2 deste artigo. Os comandos provenientes do *Joystick* foram enviados via UDP (através de um cabo de rede) para o PC104. Este, por sua vez, encontrava-se conectado ao MST via porta COM. O MST controlava os servos de acordo com as referências do *Joystick*. Após o controlo directo dos servos pelo periférico foi iniciado o teste com todo o *software* (GUI e *software* do piloto automático) e *hardware*. Com esta configuração, o movimento dos servos, o cálculo do *footprint* e altitude da aeronave estavam coincidentes com o expectável como ilustrado na secção 4.1.

6. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

Neste trabalho estudou-se o conceito "*Fly-by-camera*", e procedeu-se à implementação de um protótipo a ser utilizado no âmbito do *PITVANT*.

Os testes realizados individualmente ao *software* para os três modos desenvolvidos, permitiram validar o sistema implementado. A validação do sistema implementado para seguimento de alvos com base em visão foi realizada recorrendo a simulação computacional verificando-se uma carga de trabalho diminuta para o operador do sistema. Os testes realizados ao *hardware* permitiram validar a arquitectura do sistema proposto.

Como trabalho futuro propõe-se a implementação da capacidade de estabilização da *gimbal*, a utilização de uma arquitectura com um único *link* de comunicações, e a implementação de geração automática de trajectórias com base em informação recolhida pelos sistemas de visão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blyenburgh, Peter van. 2008. **UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS - The Current Situation.** *EASA UAS Workshop.* Paris : s.n., 2008. 31 diapositivos.

Diamond Systems. Rhodeus PC/104 SBC. *Diamond Systems.* [Online] [Citação: 24 de fevereiro de 2013.] http://www.diamondsystems.com/products/rhodeus.

Lee, DongBin, et al. 2007. **Fly-The-Camera Perspective: Control of a Remotely Operated Quadrotor UAV and Camera Unit.** *46th IEEE Conference on Decision and Control.* 2007. pp. 161-188. ISBN: 978-1-4244-1497-0.

MATLAB. 2012. version 7.14.0.739 (R2012a). Natick, Massachusetts : The MathWorks, Inc, 2012.

NOVA WebSite. 2002. Kettering Aerial Torpedo. *SPIES THAT FLY.* [Online] Novembro de 2002. [Citação: 25 de Fevereiro de 2013.]

Quigley, Morgan, Goodrich, Michael A. e Beard, Randal W. 2004. **Semi-Autonomous Human-UAV Interfaces for Fixed-Wing Mini-UAVs.** 2004.

Stolle, Sebastian e Rysdyk, Rolf. 2003. **Flight Path Following Guidance For Unmanned Air Vehicles With Pan-Tilt Camera For Target Observation.** *Proceedings of the AIAA Digital Avionics Systems Conference.* Outubro de 2003. pp. 01-12.

Wilson, J. R. 2002. UAVS AND THE HUMAN FACTOR. *Aerospace America.* 2002. http://www1.aiaa.org/aerospace/Article.cfm?issuetocid=233&ArchiveIssueID=28.

Sperry Aerial Torpedo. *SPIES THAT FLY.* [Online] Novembro de 2002. [Citação: 25 de Feveiro de 2013.] http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs_03.html.

Time Line of UAVs. *SPIES THAT FLY.* [Online] Novembro de 2002. [Citação: 23 de Janeiro de 2013.] http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html.

Pololu Micro Serial Servo Controller (assembled). *Pololu Robotics & Electronics.* [Online] 2012. [Citação: 15 de Dezembro de 2012.] http://www.pololu.com/catalog/product/207.

User'sGuide. *Micro Serial Servo Controller.* s.l. : Pololu Robotics & Electronics, 2005.

Caracterização do desempenho do *DHC Chipmunk Mk 20* utilizando a metodologia “*The Bootstrap Approach*”

Autor: Bernardo Pereira, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado
na Especialidade de Pilotagem Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientadora: Doutora, Maria Matos, Major Engenheira Aeronáutica
Centro de Investigação, Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Resumo: No sentido de adaptar a atividade da Força Aérea Portuguesa (FAP) ao reboque de planadores, a frota *Chipmunk Mk 20* sofreu uma remotorização, substituindo o motor *Gipsy Major*de 145 cavalos (cv) pelo motor *Lycoming O-360 A4M* de 180cv. Esta modificação, ao ser implementada veio alterar as suas características originais de desempenho, estabelecidas no manual de voo da aeronave.
Para atualizar e complementar o manual de voo do *Chipmunk Mk 20,* elaborou-se um estudo de análise de desempenho através do método *The Bootstrap Approach* (TBA). Este método, baseado em ensaios em voo é projetado idealmente para aeronaves ligeiras, como é o caso do *Chipmunk*. Sucintamente, o TBA permite, com um número reduzido de voos, estimar o desempenho de uma aeronave para diferentes cenários.
Ao recorrer a este método, este trabalho foca-se fundamentalmente na importância de permitir futuramente ao operador um maior rigor no planeamento das missões. Paralelamente a este método, no sentido de satisfazer as necessidades do Centro de Atividades Aéreas (CAA), determinou-se ainda a distância de descolagem e aterragem para diversas situações.
No culminar deste trabalho pretende-se ainda propor a inclusão dos resultados obtidos no manual de voo utilizado pelo CAA, permitindo assim ao *Chipmunk Mk 20* servir a FAP, por muitos mais anos, ao mais alto nível.

Palavras-chave: *Chipmunk Mk 20*, Desempenho, Ensaios em Voo, Método *The Bootstrap Approach*, Força Aérea Portuguesa, Manual de Voo.

INTRODUÇÃO

A FAP, como instituição militar que é, prima pelo cumprimento das suas missões exigindo um nível de segurança máxima. Porém, com a evolução dos sistemas de armas(1) e seus componentes, surgem dificuldades em se atingir a primazia deste objetivo. Assim sendo, surge a necessidade de se ter como apoio para a operação das aeronaves na Força Aérea (FAP) um suporte documental de elevada qualidade e, acima de tudo, atualizado.

O *Chipmunk Mk 20*, aeronave de instrução integrada na FAP, surge como peça fundamental na própria organização, sendo esta a primeira aeronave utilizada pelos futuros pilotos. Torna-se assim, essencial, que a operação desta aeronave seja realizada sempre com a máxima segurança possível.

Ao longo dos anos foram efetuadas diversas modificações na aeronave *Chipmunk* que provocaram um impacto notório nas suas características originais de desempenho. As publicações existentes, referentes a esta aeronave, não acompanharam o processo de evolução da mesma, encontrando-se atualmente desatualizadas. Para colmatar esta lacuna, foi efetuado este estudo que pretende determinar experimentalmente os parâmetros reais de desempenho da aeronave.

O objetivo principal deste trabalho consiste em caracterizar o desempenho do *Chipmunk Mk 20*, através de um programa de ensaios em voo, utilizando a metodologia TBA.

(1) Ao longo da artigo a designação sistema de armas refere-se a qualquer tipo de aeronave operada pela FAP, e não ao armamento bélico.

1. O *CHIPMUNK MK 20* E A SUA CARACTERIZAÇÃO

1.1 Enquadramento Histórico

Em 1946, *Pat Fillingham* efetuou, em *Downs-view*, Toronto, o primeiro voo com o protótipo do *De Havilland Canada DHC-1 Chipmunk*, de matrícula CF-DIO-X, ilustrado na Figura 1. Poucos acreditariam que mais de sessenta anos volvidos, inúmeros exemplares se encontrariam a voar um pouco por todo o mundo (Ventura, 2011).

Inicialmente, esta aeronave começou por equipar a *Royal Air Force* (RAF) e a *Royal Canadian Air Force*, esta já na versão T.1. O *Chipmunk* viria também a ser utilizado noutros países, nomeadamente: Colômbia, Chile, Dinamarca, Egito, Irlanda, Iraque, Jordânia, Líbano, Malásia, Arábia Saudita, Síria, Tailândia, Uruguai e Portugal.

Figura 1: DHC-1 Chipmunk, o CF-DIOX-X.
Fonte: In Canadian Aviation Magazin, 1946.

Em Portugal, o *Chipmunk* foi adotado pela aeronáutica lusa como substituto do *Tiger Moth*, com o objetivo de realização de instrução elementar de Pilotagem. Prevendo a futura aquisição desta aeronave, as Oficinas Gerais de Material Aeronáutico (OGMA) realizaram em Alverca voos de teste em *Chipmunk*, no dia 13 de junho de 1950. Mais tarde, os primeiros dez exemplares destinados à Aeronáutica Militar Portuguesa foram produzidos em Inglaterra, tendo sido enviados posteriormente para Lisboa por via marítima. Em 1952, sob licença da *De Havilland*, foi estabelecido o acordo para construção nas OGMA dos primeiros seis *Chipmunks*, destinados a equipar a Aeronáutica Militar Portuguesa. Um total de 66 aeronaves foram então produzidas em Alverca pelas OGMA (Ventura, 2011).

A criação da Força Aérea, como ramo independente das Forças Armadas Portuguesas no ano de 1952, fez com que as aeronaves até então atribuídas à Aeronáutica Militar passassem a estar ao serviço da FAP.

Em março de 1989 foram entregues à Academia da Força Aérea (AFA) 7 *Chipmunk* destinados ao reboque de planadores. Durante os dez anos seguintes a instrução no *Chipmunk* criou história. No sentido de dar resposta às necessidades de instrução elementar e estágio de seleção de voo, em 1997, a FAP promoveu a remotorização desta frota onde foram efetuadas diversas modificações sendo a principal a substituição do seu motor inicial, *Gipsy Major*, pelo motor *AvcoLycoming O-360 A4M*, sendo este último dotado de uma potência maior, passando de 145 cv para 180 cv, acoplado com um sentido de rotação contrário ao anterior. (Pires, 2012, entrevista).

Atualmente o Chipmunk está sedeado no Centro de Atividades Aéreas (CAA) da AFA, e fruto do conjunto de modificações e melhorias descritas de seguida, continua, ainda nos dias de hoje, a servir a FAP, satisfazendo as suas necessidades de instrução elementar.

1.2 Modificações Efetuadas

Inicialmente a frota era composta por um conjunto de aeronaves *Chipmunk* dotadas com o motor *Gipsy Major*. Em 1997, no sentido de satisfazer a necessidade de reboque de planadores, foi feita a substituição do seu motor inicial de 145 cv pelo motor *Avco Lycoming* 0-360 A4M de 180 cv. Com este novo motor foi indispensável a substituição e recolocação da bateria, tal como a substituição do hélice antigo pelo novo hélice metálico *Sensenich*. Para além da remotorização, entre 1997 e 1998, a frota sofreu uma série de alterações sendo as mais relevantes a colocação de novos travões *Cleveland*, a substituição do sistema elétrico do *Transponder*, o novo rádio e a aplicação de um *Kit Anti Spin*. Mais tarde, no ano de 2000, o *Chipmunk* passou a incluir uma segunda bomba de vácuo. Em 2008, de forma a garantir a operação com maior segurança, a frota foi instrumentada com um medidor de caudal de combustível (*Fuel flow meter)* em todas as suas aeronaves (Pires, 2012, entrevista).

Posteriormente, em 2010, foi iniciado um estudo para a colocação de um sistema de vídeo *debriefing* com o objetivo de disponibilizar novas ferramentas de auxílio à instrução. No culminar desse estudo, em 2011, uma das aeronaves foi totalmente equipada com um sistema de vídeo *debriefing* (Alves, 2011). Iniciada em 2012, decorre ainda a substituição da longarina central da asa em todas as aeronaves constituintes desta frota. Em março de 2013, visando a realização deste trabalho, foi implementado numa das aeronaves constituintes da frota um sensor de temperatura *Outside AirTemperature* (OAT). Na Figura 2 está representada uma evolução temporal das diversas modificações efetuadas.

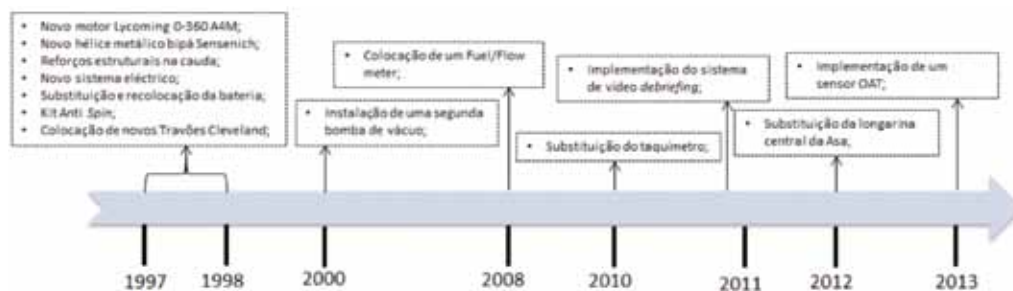



Figura 2: Escala temporal das modificações efetuadas.

A alteração do motor, com um novo sentido de rotação, em conjunto com a substituição do hélice, provocaram, alterações no peso da aeronave, bem como na sua resistência total. Destas alterações advêm, desde logo, algumas reações aerodinâmicas na aeronave. O desempenho depende de valores referentes ao motor e ao hélice, o que leva a concluir que estas alterações influenciaram diretamente o desempenho do *Chipmunk Mk 20*.

1.3 Caracterização da Operação do *Chipmunk*

O manual de operação do *Chipmunk Mk 20*, inserido nas publicações do *Chipmunk Mk 20*, está dividido em três capítulos distintos sendo estes: Contacto, Formação e Navegação. Esse manual tem como finalidade a apresentação dos princípios elementares e técnicas que se aplicam a todos os pilotos e alunos pilotos que operam o *Chipmunk Mk 20*. Nos três capítulos do manual são apresentados três diferentes tipos de missões realizadas pelo *Chipmunk Mk20*: Contacto (dividido em Contacto Inicial e Contacto Avançado), Navegação e Formação, que são executados a diferentes altitudes. Para facilitar a compreensão das missões efetuadas foi elaborado um gráfico, com uma perspetiva abrangente de toda gama de altitudes praticadas pelo *Chipmunk* nos diferentes perfis de missão que se encontra ilustrado na Figura 3. As altitudes são medidas a partir do nível do solo (*Above Ground Level* (AGL)).

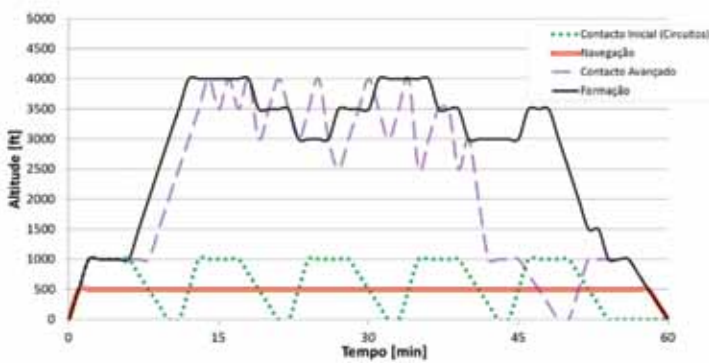



Figura 3: Sobreposição de altitude para diferentes perfis de missão tipo.

Para melhor compreensão das características da aeronave, elaborou-se um envelope de voo para o *Chipmunk Mk 20*. Este envelope pode ser observado na Figura 4, e foi elaborado segundo Perkins (Perkins, 1949).

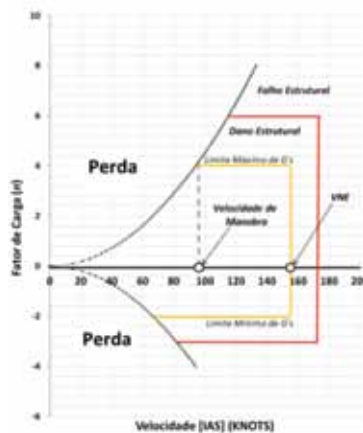



Figura 4: Envelope de Voo do *Chipmunk Mk 20*

2. O MÉTODO TBA E SUA APLICAÇÃO AO *CHIPMUNK MK 20*

Para salvaguardar a operação em condições de segurança, é extremamente importante o conhecimento prévio do comportamento da aeronave, tornando-se essencial o conhecimento do desempenho da mesma. É possível determinar diversos parâmetros de voo através de métodos computacionais, porém, a simulação de todas as condições que se podem encontrar em voo é, por vezes, impossível.

Uma vez que se pretendem determinar as características de desempenho de uma aeronave em operação da qual não existem dados de projeto, justifica-se a necessidade de se recorrer a ensaios em voo, sendo esta a metodologia na qual se baseia o método TBA. Tendo ainda em conta os seus requisitos deste método que se refletem na pouca instrumentação necessária, na sua fácil aplicação e os custos associados, o método TBA foi o escolhido para caracterizar o desempenho do *Chimunk*. Este método será então apresentado e aplicado ao *Chipmunk Mk 20* de seguida.

2.1 Introdução

Sucintamente, o TBA consiste num método que permite calcular aproximadamente o desempenho de uma aeronave, a qualquer peso ou altitude, apenas com o conhecimento prévio de nove parâmetros fundamentais. Estes parâmetros são facilmente determinados através de um conjunto de ensaios em voo que no seu total não deverão exceder duas horas de operação. Este método é composto por duas fases. Na primeira fase são determinados os nove parâmetros que vão compor o *Bootstrap Data Plate* (BDP), que consiste num quadro de valores de desempenho. Na segunda fase, estes parâmetros vão permitir a elaboração de diversos gráficos de caracterização de desempenho. Estes gráficos serão compostos através da aplicação das diferentes equações constituintes do TBA que serão apresentadas de seguida (Lowry, 1999).

"Fly the airplane to find out how the airplane flies…"

John T. Lowry

2.2 Fase I do Método TBA

Segundo Lowry (Lowry, 1999), o BDP, tal como foi dito anteriormente, é constituído por nove parâmetros, nomeadamente:

1. Área da Asa, S;
2. Alongamento, A;
3. *Rated MSL* Torque, $\mathbf{M_0}$;
4. Diâmetro do Hélice, d;
5. *Altitude drop-off parameter*, $\mathbf{C}$;
6. Coeficiente de resistência parasita, $\mathbf{C_{D0}}$;
7. Fator de Eficiência, $\mathbf{e}$;
8. Inclinação da Polar do hélice, m;
9. Intersecção da Polar do hélice, $\mathbf{b}$

Após a realização dos testes em voo necessários para completar o BDP a fase **I** do método *Bootstrap Approach* dá-se assim por terminada. Esta fase encontra-se esquematizada na Figura 5.

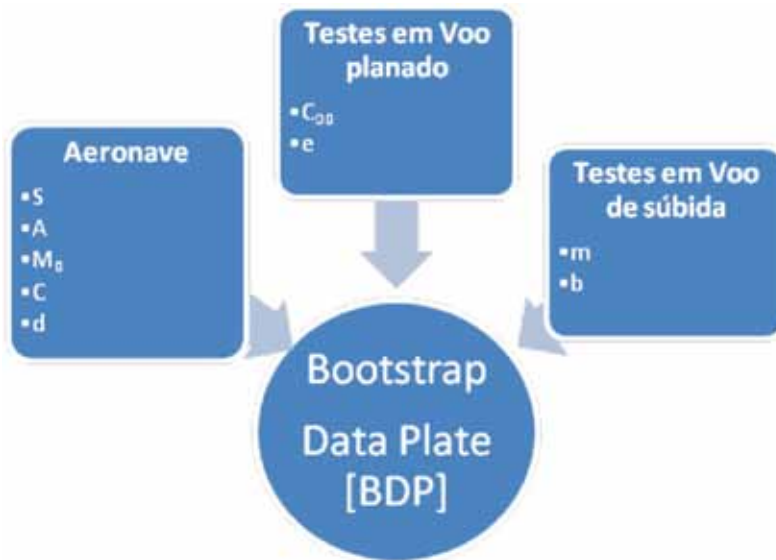



Figura 5: Fase I do método *The Bootstrap Approach*
Fonte: Adaptado de Lowry, 1999.

Para finalizar a aplicação da primeira fase do método TBA ao *Chipmunk Mk 20* recorreu-se ainda às equações de Lowry (Lowry, 1999), construindo-se a Tabela 1 onde estão representados os nove parâmetros do BDP.

Tabela 1: *Bootstrap Data Plate* para o *Chipmunk Mk*

BDP item	Valor	Unidades	Proveniência dos dados:
Área da Asa, S;	172,5	ft^2	Aeronave
Alongamento, A;	6,832		Aeronave
Rated MSL Torque, M_0;	350,14	ft-lbf	Motor
Altitude drop-off parameter, C;	0,1048		Motor
Diâmetro do Hélice, d;	6,3484	ft	Hélice
Parasite drag coefficient, C_{D0};	0,0382		Ensaios em Voo
Fator de Eficiência, e;	0,6125		Ensaios em Voo
Inclinação da Polar do hélice, m;	1,6577		Ensaios em Voo
Intersecção da Polar do hélice, b;	-0,0815		Ensaios em Voo

2.3 Fase II do Método TBA

A análise de desempenho através do método *Bootstrap Approach*, não se limita apenas ao cálculo dos nove parâmetros que constituem o BDP. Quando a primeira fase do TBA é dada como terminada, ou seja, depois da realização dos ensaios em voo, torna-se necessário restringir os parâmetros de desempenho que se vão estudar (LOWRY, 1999). Assim sendo, procura-se saber qual a informação que normalmente se encontra incluída na secção de "*Performance*" do manual de voo de determinada aeronave. Através de uma breve pesquisa, dá-se início ao estudo através deste método, restringindo-o apenas às condições de *full-throttle* e voo planado *throttle-idle*. Todos os testes foram realizados com as asas da aeronave niveladas. A informação predominante para a análise de desempenho de uma aeronave, consiste na determinação de diferentes velocidades para qualquer peso e altitude. As velocidades analisadas serão as seguintes:

- Velocidade máxima atingível emvoo de nível: V_M
- Velocidade mínima para mantervoo de nível: V_m
- Velocidade para o melhor ângulo de subida: V_x
- Velocidade para a melhor razão de subida: V_y
- Velocidade para o melhor ângulo de planeio: V_{bg}
- Velocidade para a razão mínima de descida: V_{md}

Para além do cálculo das diversas velocidades acima apresentadas, este método permite também a análise das diferentes potências: potência disponível, necessária e potência em excesso. É ainda possível a determinação das força propulsiva e da resistência ao avanço, bem como a razão de subida e descida, designadas respetivamente por ROC e ROS. Para finalizar pode também ser do interesse do operador da aeronave o conhecimento do ângulo de subida e de planeio. Todas as equações encontram-se disponíveis em Lowry, (1999).

Nesta fase foram elaborados diversos gráficos de desempenho, salientando-se os gráficos das Figuras 6 e 7. Na Figura 6 está representada a variação das diferentes velocidades (em *full-throttle*) em altitude, para o *Chipmunk Mk 20* a 1975 lbf.N. Começando pela velocidade mínima em voo de nível, é de salientar que esta só apresenta valores superiores à velocidade de perda da aeronave (47 nós) depois dos 12000 ft. A esta altitude já não são realizados voos, pois ultrapassa-se o limite fisiológico (10000ft). Por seu turno, a velocidade máxima atingível em nível de voo diminuiu com o aumentar da altitude até ao teto absoluto onde convergem todas as velocidades. A esta altitude as curvas de potência necessária e potência disponível tocam-se. É considerada hipoteticamente a máxima altitude da aeronave, porque na prática é impossível atingir-se essa altitude. Seria necessário, uma quantidade imensa de combustível e tempo.

Por sua vez a Figura 7 mostra a razão de subida em função da velocidade. Esta mostra também claramente como o desempenho da aeronave se degrada com a altitude. Aos 10000ft a melhor razão de subida cai para menos de metade. Este facto ocorre maioritariamente em aeronaves com pouca potência, como é o caso do *Chipmunk* e pode tornar-se um grave problema, por exemplo na transposição de montanhas de elevada altitude.

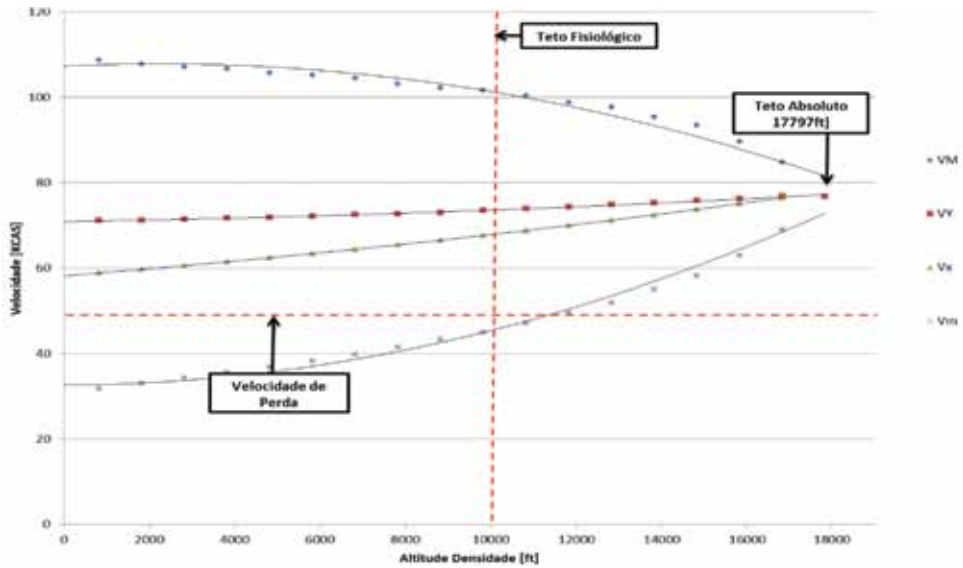



Figura 6: Velocidades em Altitude Densidade para o *Chipmunk Mk 20*

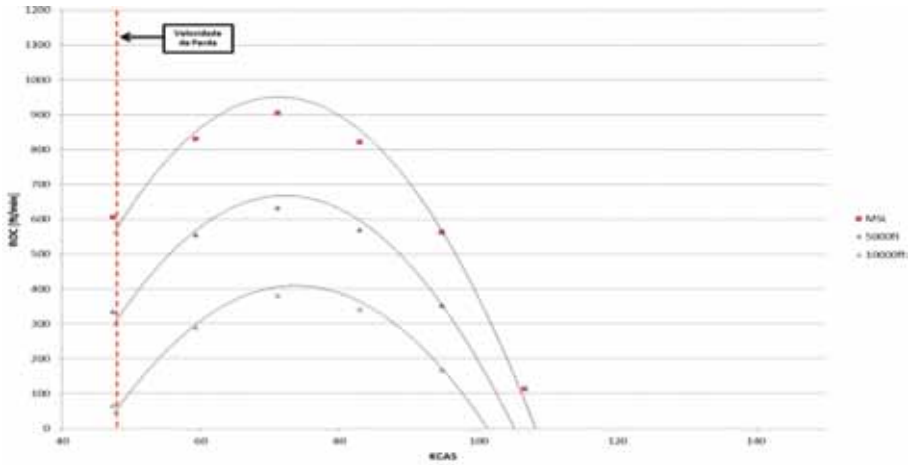



Figura 7: Razão de Subida para o *Chipmunk Mk 20*, Desconfigurado com o peso de 1975lbf.

2.4 Alcance e Autonomia

A distância que uma aeronave consegue percorrer convertendo a energia armazenada no combustível em velocidade é denominada de alcance. Por outro lado, a autonomia de uma aeronave consiste na capacidade de usar essa mesma energia para aguentar o máximo tempo possível no ar, sem aterrar para se reabastecer. Estes aspetos são de extrema importância na aviação, não só do ponto de vista operacional mas também do ponto de vista económico, dado o elevado preço do combustível. Estes dois parâmetros dependem da quantidade de combustível que a aeronave leva, do seu peso, altitude, da velocidade a que está a voar e, naturalmente, da razão de consumo (*Fuel Flow*). Recorrendo às equações apresentadas em Lowry, (1999) para regime em voo cruzeiro elaboraram-se as Figuras 8 e 9.

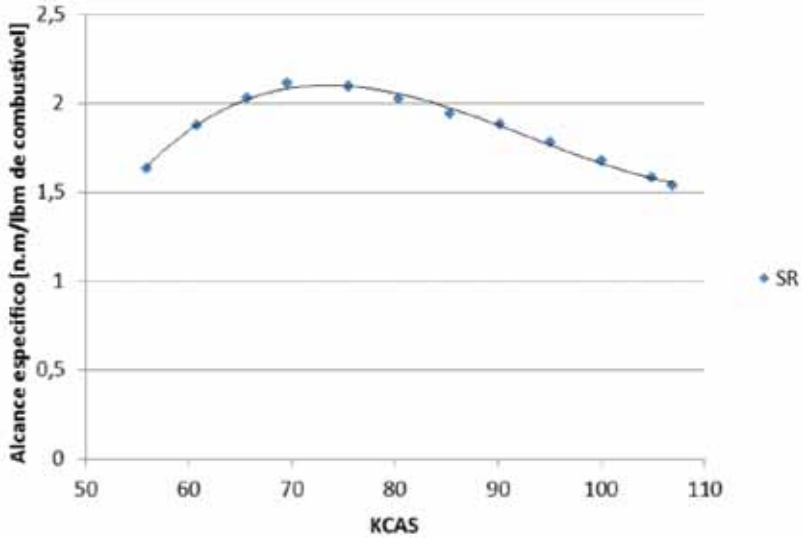



Figura 8: Autonomia específica em função da velocidade.

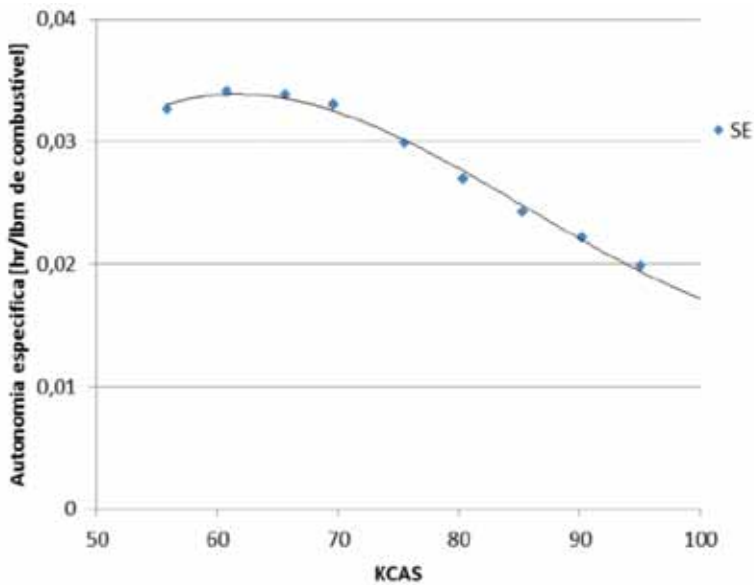



Figura 9: Alcance específico em função da velocidade.

A Figura 8 mostra que a velocidade onde a autonomia é máxima é a 61 KCAS, e a Figura 9 mostra que o alcance é máximo é obtido à velocidade de 73 KCAS.

Através dos gráficos apresentados pode ser elaborada a Tabela 2 com a autonomia (hr) e o alcance (nm), para o *Chipmunk Mk 20*. Esta tabela depende da quantidade de combustível disponível. Esta quantidade foi calculada subtraindo ao combustível total, 82 litros, o combustível gasto em operações no solo e descolagem que se estima em 5 litros. Assim sendo, o combustível disponível é de 77 litros.

Tabela 2: Resumo dos parâmetros para voo cruzeiro

Velocidade [KIAS]	Velocidade [KCAS]	Autonomia [hr]	Alcance [nm]
55	60	4h 00 min	210
60	65	3h 55 min	229
65	70	3h 45 min	238
70	75	3h 25 min	239
75	80	3h 00 min	234
80	85	2h 20 min	225
85	90	2h 15 min	214
90	95	1h 50 min	201

3. SÍNTESE DOS RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM OS MANUAIS

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos através do método TBA para a situação de *full throttle*.

Elaborou-se também uma análise complementar ao método TBA para determinação da distância de descolagem e aterragem. A distância de descolagem foi determinada através de um ensaio em voo, onde se efetuaram várias descolagens, e por sua vez, a distância de aterragem foi determinada através de um método essencialmente teórico. Ambos os perfis foram elaborados segundo as normas da *European Aviation Safty Agency* (EASA, 2010). Resumiram-se os resultados obtidos entre o nível médio das águas do mar (MSL) e os 1500ft, uma vez que a maioria das pistas em Portugal se encontram neste intervalo de altitudes. Estes resultados encontram-se apresentados na Tabela 4.

Para finalizar efetuou-se uma comparação entre os resultados dispostos nas publicações do *Chipmunk* e os obtidos a partir da caracterização de desempenho efetuada nesta tese. Esta comparação está presente na Tabela 5. Conclui-se da análise da tabela 5 que existe alguma discrepância entre os parâmetros utilizados atualmente na operação da aeronave e os obtidos pelo TBA. É de salientar a importância desde facto pois as publicações utilizadas até então encontram-se desatualizadas, apresentando ainda parâmetros que não correspondem à realidade. Alguns destes parâmetros, como é o caso da $\mathbf{V}_{bg}$, podem mesmo comprometer a segurança da operação do *Chipmunk.*

Tabela 3: Resumo de velocidades para o TBA

h_ρ	[KCAS]					[KIAS]				
[ft]	V_M	V_x	V_Y	V_{bg}	V_{md}	V_M	V_x	V_Y	V_{bg}	V_{md}
MSL	109	58	71	69	52	104	52	65	63	46
1000	108	58	71	70	53	103	52	65	64	47
2000	107	59	71	71	54	102	53	65	65	48
3000	107	60	71	72	54	102	54	65	66	48
4000	106	61	72	73	56	101	55	66	67	50
5000	105	62	72	74	56	100	56	66	68	50

Tabela 4: Distância de descolagem e aterragem para diferentes pesos

	Distância de Descolagem [ft]		
Altitude [ft]	[W=2200lbf]	[W=1975lbf]	[W=1800lbf]
MSL	1361	1221	1113
500	1379	1238	1128
1000	1398	1255	1144
1500	1418	1273	1160
	Distância de Aterragem [ft]		
MSL	1116	912	831
500	1030	925	843
1000	1045	938	855
1500	1060	952	868

Tabela 5: Comparação entre os resultados das publicações e do método TBA

	Publicações *Chipmunk Mk 20*	Método TBA	Variação Percentual
V_{bg}	70 KIAS	66KIAS (Média entre 0-5000ft)	6,9%
Autonomia máxima	2h 30'	4h 00 min (56KIAS)	37,5%
Alcance máximo	445 Km	475 Km (68KIAS)	6,3%
Distância de descolagem a 2000f (W=2200)	1535 ft	1438 ft	6,7%
Distância de descolagem a 4000ft (W=2200)	1755 ft	1526 ft	15%
Distância de aterragem a 2000ft (W=2200)	1490 ft	1076 ft	38,5%
Distância de aterragem a 4000ft (W=2200)	1565 ft	1142 ft	37%

4. CONCLUSÕES

Ao longo deste artigo foi apresentado um estudo sobre o desempenho do *Chipmunk Mk 20*, aeronave esta que se encontra sedeada no CAA da AFA. O objetivo deste trabalho consistiu em efetuar a caracterização do desempenho do *Chipmunk Mk 20* através de um programa de ensaios em voo, utilizando a metodologia TBA.

No desenvolvimento do trabalho verificou-se que a aeronave *Chipmunk Mk 20* sofreu um conjunto de alterações, destacando-se a alteração do motor *Gipsy Major* para o motor *Lycoming* O-360-A-4M. Este novo motor para além de rodar no sentido inverso ao anterior é ainda dotado de 180 cv em relação aos 145cv do antigo. Esta remotorização trouxe ainda consigo a substituição do hélice de madeira por um metálico (*Sensenich).* Estas modificações redefiniram a configuração inicial da aeronave, o que se reflete na alteração do seu desempenho. Este estudo foi efetuado através de ensaios em voo, concluindo-se que o método TBA seria o mais indicado, visando satisfazer as necessidades da FAP.

O método TBA permitiu assim caracterizar o desempenho do *Chipmunk* para as situações de *full-throttle*, voo planado e voo cruzeiro. Os resultados apresentados, embora ainda com um número de amostras reduzido, traduzem o desempenho da aeronave para diversas situações, o que permite melhorar o planeamento das missões e a própria operação por parte do piloto. Um bom exemplo disso foi a determinação das velocidades para melhor alcance e autonomia que permite a um piloto em emergência ajustar a velocidade para esses valores, indo o mais longe possível no caso do máximo alcance, ou permanecer o máximo tempo possível no ar no caso da máxima autonomia.

Após a abordagem do TBA também foram calculadas as distâncias de descolagem e aterragem para o *Chipmunk.* A distância de descolagem foi determinada através das equações da cinemática o que pressupõe assumir valores de aceleração constantes. A determinação da distância de aterragem foi, sem dúvida, a análise mais teórica, ou seja, a menos assente em ensaios em voo, o que previsivelmente a tornou menos precisa. Começando pela configuração da aeronave, que pode variar de aterragem para aterragem, passando ainda pela técnica de travagem, não esquecendo a inclinação da aproximação e o efeito de solo, todos estes fatores contribuem de forma decisiva para a distância total de aterragem, e que não é possível contabilizar no calculo. A estimativa da distância de descolagem, visto basear-se em ensaios em voo, está sujeita a menos erros. Mesmo assim existem diversos fatores que podem influenciar a sua determinação, tais como: a ação de mover o *throttle* até *full-power* ser executada já com a aeronave em aceleração, e a velocidade com que o este é atuado variar de piloto para piloto; a direção do vento também influência o tempo que a aeronave leva a descolar. Estes fatores fazem variar diretamente a distância total de descolagem. Apesar destas considerações a distância de descolagem, ao ter sido calculada diretamente através de várias descolagens, torna-se particularmente mais precisa do que a determinação da distância de aterragem. Ambas as determinações possibilitam agora aos operadores saberem se a aeronave consegue aterrar ou descolar em qualquer pista apenas sabendo o comprimento da mesma.

A análise de desempenho apresentada neste artigo representa assim um primeiro contributo para a atualização futura do Manual de Voo do *Chipmunk Mk 20,* com o fim último da otimização

da exploração das suas capacidades operacionais, mantendo elevados padrões de segurança que são apanágio da Força Aérea Portuguesa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Tiago Miguel da Silva – **Implementação do Sistema de video-debriefing no Centro de Atividades Aéreas**. Sintra: Academia da Força Aérea, 2011. Dissertação de Mestrado

EASA, **European Aviation Safety Agency Certification Specifications for Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes** (CS-23). [S.l.]: [s.n.], 2010

F.A. Portuguesa, "Força Aérea Portuguesa," Online, [Consultado 24 de janeiro de 2012] Disponível em: http:www.emfa.pt

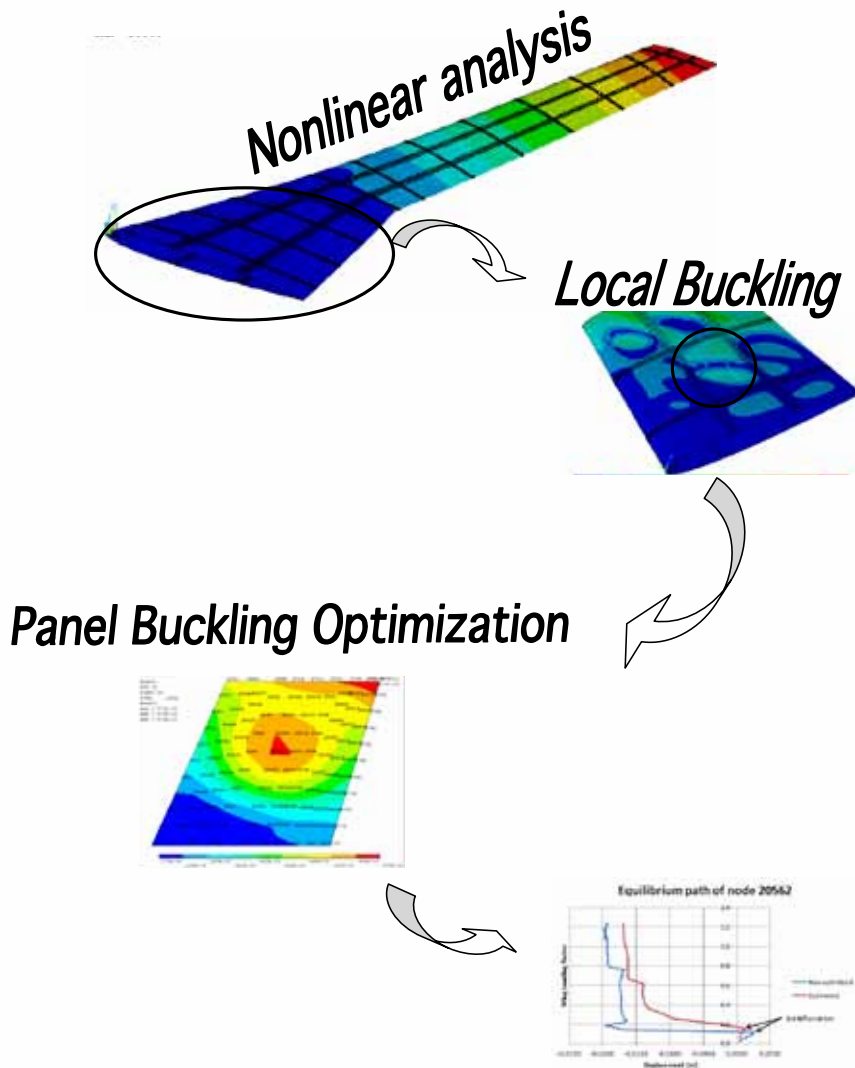
FISHER, M.D.N, Brown R.W. & Rothermel T. – **Chipmunk The first Fifty Years**, Air Britain Historians Ltd, 1997

LOWRY, John T. - **Performance of Light Aircraft**, AIAA, 1999

PEREIRA, Natalino – Major da FAP – Academia da Força Aérea de Força, Comandante do Centro de Atividades Aéreas. Entrevista exploratória, conduzida a 15 de Janeiro de 2013

PERKINS, C.D., and R.E. Hage, - **Aircraft Performance Stability and Control**, Wiley, New York, 1949

PIRES, Ivo – Tenente da FAP – Estado-Maior de Força Aérea, Direção de Manutenção e Sistema de Armas. Entrevista exploratória, conduzida a 10 de Dezembro de 2012.

Aeronautic Component Optimization with Non-smooth Buckling Load Criterion

Autor: João Campos, Alferes Aluno do Mestrado Integrado na Especialidade de Engenharia Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientadores: Professor Doutor Miguel António Lopes de Matos Neves
Professora Doutora Maria Alexandra dos Santos Gonçalves de Aguiar Gomes
Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

Abstract: In this work, an optimization method to maximize linear buckling load factors was implemented. The structural elastic stability was studied using a Finite Element Method based on the Mindlin Plate Theory. The optimization implementation uses commercial finite element software Ansys® and the Method of Moving Asymptotes to obtain the linear buckling response. To solve the optimization problem the buckling load sensitivity with respect to design variables was derived from direct differentiation method with the adjoint method and implemented at MatLab®. The concept of Generalized Gradient is applied to overcome the repeated eigenvalue problem which makes the problem non-smooth. The method was verified with simple optimization examples and results were validated comparing the optimization buckling factors of beams and plates with results from the literature. Authors underline that in structures with a significant presence of nonlinear effects, linear buckling analysis and optimization may not be the correct strategy. However, in some cases, there is the possibility to simplify the geometry and loads in order to be within the linear buckling assumptions. In this work, such an approach is tested to an upper surface wing panel which is characterized by local buckling. The first bifurcation load, obtained with nonlinear analysis, increased 30% after the proposed linear buckling optimization. In linear buckling optimization, structures with repeated or almost repeated buckling loads frequently arise. In these structures, the buckling load imperfections' sensitivity can be high. In this work, a parametric study of buckling load sensitivity due to the proximity between the lowest critical loads is presented. In the tested cases was observed that buckling load does not decrease due to the proximity between the first and second buckling load.

Keywords: Linear Buckling Optimization; Nonlinear Buckling Analysis; Imperfections sensitivity; Local Buckling; Aeronautic Structures.

1. INTRODUCTION

1.1. Motivation

Weight is one of the main factors that influence aircraft performance. Furthermore, weight also translates into cost due to its influence on specific consumption, aerodynamic resistance and transporting capability of cargo and/or passengers.

Aeronautical structures' configuration, typically consist of slender elements which provide structurally efficient solutions. The structural efficiency has also increased with the recent contribution of new materials introduced in the aircraft industry (Williams & Starke Jr, 2003), including aluminum alloys and composites with a high ratio of ultimate mechanical strength and weight. However, in some cases, structurally efficient solutions are limited for reasons of structural stability, which is a major design requirement in components subjected to compressive forces, twisting and/or shear. Buckling is one of the most important objective/constraints in structural design. In this work, and for simplicity reasons, it is assumed that buckling is the only mode of structural collapse in consideration.

Traditionally, in optimization, stability is treated as linear buckling load. Most design codes are based on linear buckling analysis (i.e. Euler approach) which is calculated by the linearized eigenvalue problem. The applicability of this analysis is reduced by its limitations, namely the

incapacity to include imperfections and nonlinear effects in the structural response. For that reason, buckling load is an upper bound. Examples in which the experimental results agree with this approach were presented by Timoshenko and Gere (Timoshenko & Gere, 1963).

Taking into account geometric imperfections and/or eccentric loads requires nonlinear analysis. When including these effects in stability analysis, the equilibrium path does not exhibit the bifurcation of equilibrium. Instead, there is the possibility that a limit point occurs. This point is associated with a given load, $\lambda_{\mathbf{l}}$, lower than the bifurcation load, $\lambda_{\mathbf{cr}}$. Thus, critical load computation using nonlinear analysis makes a stability study more realistic as in “real” structures imperfections are always present.

1.2. Brief Literature Review

Lindgaard and Lund recently developed an optimization methodology with nonlinear stability criterion in composites and laminates, where the design variables are the fibers’ orientations. The lower critical load factor is detected by limit point (Lindgaard & Erik, 2010) and bifurcation and/or limit point in reference Lindgaard & Lund (2010). In both works, the optimization problem is solved by Mathematical Programming and the gradients are calculated semi-analytically. The general type nonlinear buckling formulation was benchmarked against the traditional linear buckling formulation and much better results were achieved through nonlinear buckling optimization. This comparison was made in two numerical examples: a beam with U-section and a blade of a wind turbine, both modeled with shell finite elements. In reference (Lindgaard & Lund, 2010) optimization results are compared using different methods to predict failure in terms of local buckling. The criteria study includes: linear buckling, nonlinear buckling and local criterion (e.g. extensions, displacements, etc.). In the last criterion, the optimization formulation operates in a criterion function formulated in terms of strain measures instead of directly on buckling.

In optimized structures with stability criterion the buckling load is sensitive to geometric imperfections. Lund studied the geometric imperfections sensitivity through the concept of the worst imperfection (Lindgaard, Lund, & Rasmussen, 2010) (Lund & Lindgaard 2010). Worst imperfection was defined as one which causes the greatest decrease in the first critical load. This is determined by a minimization problem where the imperfection shape is calculated through linear combination of the first buckling modes and its amplitude is limited by linear constraints. After worst imperfection determination, the critical load, which is defined as the bifurcation point or limit point that appears first in the equilibrium path, is optimized. This optimization process was also implemented starting in reverse order, i.e., the process starts with the optimization of the critical load and then the worst imperfection and the effects in the structure previously optimized are determined.

Rahmatalla and Swan (Rahmatalla & Swan, 2003) implemented two optimization formulations taking into account buckling considerations. In the first one, the structure undergoing a specific loading is modeled as a hyperelastic continuum at finite deformations and is optimized to maximize the minimum critical load. In this case, it is considered that the instability corresponds to the first limit point which arises in the load-displacement diagram. Sensitivity of critical load (i.e. point limit) is calculated using the adjoint method. In the second one, the structure under

a similar loading is modeled as linear elastic, and the critical buckling load is computed. This optimization problem is developed based on the method proposed by Neves et al. (Neves et al., 1995). One of the research findings relates to the fact that the formulation based on linearized stability analysis is much more computationally efficient than the formulation based on nonlinear analysis. In some of their examples, Swan and Rahmatalla (Rahmatalla & Swan, 2003) compared the solutions obtained with both methods which were found to reliably yield high buckling stability designs.

Topology optimization with linear elastic stability criterion can be applied to aircraft components. Structural components without curvature and subject only or mainly to membrane efforts are good examples. Zhou (Zhou, 2004) applied topology optimization with stability constraints to a wing rib and compared the critical load and weight with results based on compliance minimization. Zhou also discussed the existing difficulties in topology optimization with stability constraints, namely the singularities and their influence on the optimal solution. In addition, the critical buckling modes problem appearing in low density region and their elimination through the use of filters are also discussed. This problem was first discussed by Neves et al. (Neves et al. 1995), who proposed ignoring the geometric stiffness matrix in elements with low density. To avoid discontinuity of the density function, Sigmund and Bendsøe (Bendsoe & Sigmund, 2002) suggested a different penalty for stiffness matrix and for geometric matrix.

Folgado and Rodrigues (Folgado & Rodrigues, 1998) implemented the optimization method with stability criterion in beams and laminated plates using the homogenization method.

Neves et al. (Neves et al., 2000) also applies topology optimization with stability constraints to periodic structures modeled by linear elastic microstructures. Local stability, studied at microstructure level, is used to compare different material distributions in a base cell subject to a field of equal strains on macroscopic level.

1.3. Scope of this Work

In this work, an optimization method to maximize the minimum critical buckling load is implemented. The critical load is achieved through linear buckling analysis. The design variables are the components thicknesses and the constraint is the total volume of the structure.

As mentioned above, in structures with nonlinear structural response, linear stability analysis and linear buckling optimization may not be appropriate, particularly when instabilities arise by limit point. However, in some cases it is the possible to simplify geometry and loads to ensure linear stability conditions. In such cases, the question that arises is: when a structure is modeled, analyzed and optimized with simplifications of linear stability, is it still possible to obtain an increase in critical load achieved with nonlinear stability analysis?

In this extended abstract, this approach is applied on a sample wing panel which is simplified (geometrically and loading-wise) and optimized in linear elastic stability conditions. The goal is to check, with a nonlinear stability analysis, if there is an increase in critical load.

Another problem is addressed concerning the fact that linear stability approach cannot take into account the effects of imperfections. Moreover, in optimization of buckling loads, structures with repeated critical loads often arise. In these structures, critical load can be highly sensitive to imperfections (Ho, 1974; Huseyin, 1975; Hutchinson & Amazigo, 1967; Thompson & Hunt, 1973).

In this extended abstract, a parametrical study of critical load sensitivity to transversal load disturbance is also presented. The aim is to verify the critical load sensitivity (for this type of disturbance) to the proximity or even repetition of the lowest critical loads, using nonlinear stability analysis to compute the critical load of the previously optimized structure.

2. ANALYSIS FORMULATION

When solving a structural optimization problem, it is fundamental to obtain, analytically or numerically, the solution to the equilibrium equations.

Shell elements are widely used to model the curved geometry of a structure. Shell elements based on classical shell theory are difficult to develop. These types of elements are very efficient in modeling the structure's curved geometry. However, because of the complexities, the alternative approach is to model the structure with series of flat elements, which are simpler and easier to formulate and implement.

In this work, Mindlin Plate Theory (MPT) is used combined with a membrane theory, resulting in a Flat Shell Element. The plate element has three degrees of freedom by node (two rotations and one transverse displacement) while the membrane element contains two degrees of freedom (membrane displacements). The drilling rotation θ_z is not part of plate's theory. In order to avoid an ill-conditioned or even singular stiffness matrix, flat shell elements are given a small stiffness for drilling rotations θ_z , according to Bathe (Bathe, 1982).

In the following section, we present the main simplifications and assumptions of MPT. This element was computationally implemented (in MatLab®) to obtaining the structural matrices needed for the sensitivity analysis of buckling load.

2.1. Mindlin Plate Theory

The assumptions of MPT used for the purpose of representing the displacement and stresses field in isotropic plates are (Reddy, 2004):

- the deformations are such that the planes perpendicular to the midsurface remain straight, but not necessarily perpendicular after deformation;
- the strain perpendicular to the midsurface is negligible compared with the others, so $\varepsilon_{zz} = 0$;
- the tension perpendicular to the midsurface is negligible compared with the others, so $\sigma_{zz} = 0$;
- the displacement of an arbitrary point of the shell is small compared with the thickness;
- the deformations are infinitesimal.

Under this assumptions, the displacement field of MPT is of the form:

$$\begin{aligned} u &= u_0\,(x,y) - z^*\,\theta_1(x,y) = u_0\,(x,y) + z^*\,\theta_y(x,y) \\ v &= v_0\,(x,y) - z^*\,\theta_2(x,y) = v_0\,(x,y) - z^*\,\theta_x(x,y) \\ w &= w_0(x,y), \end{aligned} \qquad \textbf{Eq. 1}$$

where $\mathbf{u_0}$, $\mathbf{v_0}$ e $\mathbf{w_0}$ denote displacements of a point on plane $\mathbf{z = 0}$.

The Green-Lagrange strains for MTP, assuming infinitesimal displacements and ignoring the nonlinear terms are (Reddy, 2004):

$$\varepsilon\,(x,y,z) = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_{,x} \\ v_{,y} \\ u_{,y} + v_{,x} \\ v_{,z} + w_{,y} \\ u_{,z} + w_{,x} \end{Bmatrix}, \qquad \textbf{Eq. 2}$$

where a comma denotes differentiation with respect to the corresponding subscript. Replacing the displacement field from Eq. 1 into Eq. 2, we obtain the strains-displacements relation for the plate:

$$\varepsilon_M = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_{0,x} \\ v_{0,y} \\ u_{0,y} + v_{0,x} \\ -\theta_x + w_{,y} \\ \theta_y + w_{,x} \end{Bmatrix} + z^* \begin{Bmatrix} \theta_{y,x} \\ -\theta_{x,y} \\ \theta_{y,y} - \theta_{x,x} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} \qquad \textbf{Eq. 3}$$

where $\mathbf{M}$ means Mindlin plate. Unlike the Classical Theory of Plates, rotations $\theta_{\mathbf{x}}$ and $\theta_{\mathbf{y}}$ are not explicit functions of transverse displacement derivatives, $\mathbf{w}$, since there is the deformations contribution due to the shear strains $\gamma_{\mathbf{yz}}$ and $\gamma_{\mathbf{xz}}$. As a result, there are five unknown variables instead of three.

Assuming the hypotheses of MPT and taking into account the Principle of Virtual Work (Cook, Malkus, Plesha, & Witt, 2002):

$$\int_{\Omega} \delta\varepsilon_G^T\, \sigma_M \;\; d\Omega = \int_{\Omega} \delta \mathbf{u}^T\, f \;\; d\Omega + \int_{\partial\Omega_2} \delta\mathbf{u}^T\, \mathbf{t}\;\, d\,\partial\Omega_2, \qquad \forall\ admissible\ \delta\mathbf{u} \qquad \textbf{Eq. 4}$$

where $\delta\boldsymbol{\varepsilon}_G^T$ is a generalized strain vector for MPT and $\boldsymbol{\sigma}_M$ is a vector with moments and forces per unit of length. That forces and moments can be obtained by integration of stress through thickness. Stress-strain relation considering homogeneous, isotropic, and linearly elastic material can be given by:

$$\sigma_M = \boldsymbol{D}_M \boldsymbol{\varepsilon} \qquad \textbf{Eq. 5}$$

where $\boldsymbol{D}_M$ is the stress-strain relation matrix for Mindlin plate (Cook, Malkus, Plesha, & Witt, 2002).

According to the principle of virtual work, when both sides of the Eq.4 are equal, equilibrium is satisfied. The first member represents the virtual work done by internal forces and the second member the virtual work done by external forces. In other words, Eq.4 means that for any admissible virtual displacement, $\delta\mathbf{u}$, the strain increment energy equals the work done by the volume forces, $\mathbf{t}$, and by surface forces, $\mathbf{f}$. In Eq.4 the MPT assumptions leads to a linear elasticity problem because the strains $\delta\varepsilon_{\mathbf{G}}^{\mathbf{T}}$ correspond to the MPT strains and the stress-strain relation is linear.

2.2. Linear Buckling Problem

Linear elastic stability analysis (i.e. Euler approach) is a method to determine the critical buckling load of a conservative body considering the following assumptions (Cook, Malkus, Plesha, & Witt, 2002):

- the loading is proportional to the surface tractions and body forces, i.e., $\mathbf{t} = \lambda\, \mathbf{t}^{\mathbf{ref}}$ and $\mathbf{f} = \lambda\, \mathbf{f}^{\mathbf{ref}}$, where $\mathbf{t}^{\mathbf{ref}}$ and $\mathbf{f}^{\mathbf{ref}}$ are respectively the surface tractions and body forces of a reference load, thus, the applied load is only proportional to the load parameter, λ.
- the extensions are limited to situations where the displacement gradients are much lower than unity, i.e. $|\mathbf{u}_{,x}|, |\mathbf{v}_{,x}|, |\mathbf{w}_{,x}|, |\mathbf{u}_{,y}|, |\mathbf{v}_{,y}|, |\mathbf{w}_{,y}| \ll 1$.
- in the critical configuration, displacements $\delta \mathbf{u}_{\mathbf{cr}}$ are given by Linear Elasticity Theory, which are, in the case of MPT, the solution of Eq.4.

The stability problem consists in determining the linear load parameter λ and displacement fields, $\delta \mathbf{u}_{\mathbf{cr}}$, cinematically admissible, which satisfy the following equation:

$$\int_{\Omega} \delta \varepsilon_G^T\, \boldsymbol{\sigma}_M \; d\Omega + \lambda \int_{\Omega} \delta \varepsilon^{NL} \boldsymbol{\sigma}_{\boldsymbol{m}}{}^{ref} (\delta \boldsymbol{u}^{ref})\, d\Omega = \int_{\Omega} \delta \boldsymbol{u}_{cr}{}^T\, \boldsymbol{f}^{ref}\; d\Omega + \int_{\partial\Omega_2} \delta \boldsymbol{u}_{cr}{}^T\, \boldsymbol{t}^{ref}\; d\,\partial\Omega_2. \quad \text{Eq. 6}$$

If λ is below $\lambda_{\mathbf{cr}}$, the displacement field is unique. When λ increases and reaches $\lambda_{\mathbf{cr}}$, the displacement field is no longer unique, i.e. for $\lambda = \lambda_{\mathbf{cr}}$ buckling may occur a bifurcation, which means that a reference structure configuration and an infinitesimally close (buckled) configuration are both possible at the same load (Gambhir, 2004). Note that $\delta \varepsilon_{\mathbf{G}}^{\mathbf{T}}$ only includes the first-order strains associated with the plate deformation. The nonlinear term (i.e. the second term in Eq.6) represents the work done by membrane forces (per unit length) and membrane strains associated with a small lateral deflection (small perturbation). The small perturbation of the equilibrium configuration (i.e. displacements associated with a small lateral plate deflection) is linked to second order membrane strains given by (ANSYS® Academic Research, Help System // Theory Reference // 3. Structures with Geometric Nonlinearities // 3.4. Stress Stiffening):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx}{}^{NL} &= 1/2\; (u_{,x}{}^2 + v_{,x}{}^2 + w_{,x}{}^2); \\ \varepsilon_{yy}{}^{NL} &= 1/2\; (u_{,y}{}^2 + v_{,y}{}^2 + w_{,y}{}^2); \\ \gamma_{xy}{}^{NL} &= u_{,x}\, u_{,y} + v_{,x}\, v_{,y} + w_{,x}\, w_{,y}, \\ \boldsymbol{\varepsilon}_{\boldsymbol{G}}{}^{NL} &= \{\varepsilon_{xx}{}^{NL}, \varepsilon_{yy}{}^{NL}, \gamma_{xy}{}^{NL}\}. \end{aligned} \quad \text{Eq. 7}$$

Note that, in this analysis, the second order shear strains $\gamma_{\mathbf{yz}}$ and $\gamma_{\mathbf{xz}}$ are discarded. The membrane forces per unit length $\sigma_{\mathbf{m}}{}^{\mathbf{ref}}$, correspond to an initial or reference stress state. This initial state corresponds to an equilibrium configuration of the structure ($\delta \mathbf{u}^{\mathbf{ref}}$) that satisfies the equilibrium (i.e. $\delta \mathbf{u}^{\mathbf{ref}}$ is solution of Eq.4), when subjected to a load reference.

2.3. Finite Element Discretization

By means of finite element approximation, Eq.6 can be stated symbolically as the generalized eigenvalue problem,

$$\left(K(x) + \lambda_r K_\sigma(x, U)\right) \Phi_r = 0, \qquad \text{Eq. 8}$$

In this problem, Φ_r represents the eigenvector or mode, $\mathbf{K}$ and $\mathbf{K}_\sigma$ denote the stiffness and geometric matrices, respectively. $\mathbf{x}$ represents the vector of the design variables that are assumed to be constant for each finite element. Vector $\mathbf{U}$ is the fundamental displacement, which is the solution of a finite element approximation of the linear elasto-static problem,

$$K(x)\, U = R \qquad \text{Eq. 9}$$

where $\mathbf{R}$ is the load vector. The generalized eigenvalue problem is solved by the subspace iteration method using the Sparse Equation method (ANSYS® Academic Research, ANSYS® 14.0 Help // Theory Reference // 15. Analysis Tools // 15.16. Eigenvalue and Eigenvector Extraction).

3. OPTIMIZATION OF LINEAR BUCKLING PROBLEMS AND DESIGN SENSITIVITY ANALYSIS

The optimization problem is stated as material distribution, varying the elements thickness $\mathbf{x}_j$ with $\mathbf{j} = \mathbf{1}, \ldots, \mathbf{N}$, so that critical buckling load is maximized. To limit the amount of total available material volume, an upper bound on volume is introduced. Assuming that the buckling load factors are positive, different from zero and numbered such that $0 < \lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \ldots \leq \lambda_r$, the critical load factor is defined by $\lambda_{cr} = \lambda_1$. With this notation the optimization problem can be stated as

$$\max_{x_j} \left(\min_{r} \lambda_r\right) \equiv \min\left(\frac{1}{\lambda_{cr}}\right); \qquad \text{Eq. 10}$$

subjected to:

- Volume constrains:

$$\sum_{e=1}^{n} \mathbf{v_e} \leq \mathbf{V_{initial}}; \qquad \text{Eq. 11}$$

- Thickness bound constraints:

$$\mathbf{x}_j^{\min} \leq \mathbf{x}_j \leq \mathbf{x}_j^{\max}, \qquad \mathbf{j} = \mathbf{1}, \ldots, \mathbf{N}; \qquad \text{Eq. 12}$$

- Equilibrium equation (Eq.9) which characterizes the fundamental displacement field;
- Stability equation (Eq.8) which characterizes the critical buckling load factor, λ_{cr}, and the mode Φ_r.

The optimization problem previously laid out is solved by the Method of Moving Asymptotes (MMA). The documentation of the algorithm can be found in several Svanberg publications (Svanberg, 1987, 2002 and 2007).

3.1. Design sensitivity analysis of simple eigenvalues

The gradients are calculated from the direct differentiation and the adjoint method. The derivation of sensitivities of simple eigenvalues is made for finite element equations. The sensitivity of a simple eigenvalue is the derivative of λ_r with respect to design variables x_j . Pre-multiplying Eq.8 by Φ_r^T , the derivative of λ_r is:

$$\frac{d\lambda_r}{dx_j} = -\frac{d}{dx_j}\left(\frac{\Phi_r^T K \Phi_r}{\Phi_r^T K_\sigma \Phi_r}\right). \qquad \text{Eq. 13}$$

Applying the quotient rule derivative, and assuming that the eigenvectors are normalized with respect to K_σ, i.e., $\Phi_r^T K_\sigma \Phi_r = 1$, we have (see references (Neves, Rodrigues, & Guedes, Generalized topology design of structures with a buckling load criterion, 1995; Rodrigues, Guedes, & Bendsoe, 1995)) :

$$\frac{d\lambda_r}{dx_j} = -\left(\Phi_r^T \frac{dK}{dx_j}\Phi_r - \lambda_r \Phi_r^T \frac{dK_\sigma}{dx_j}\Phi_r\right). \qquad \text{Eq. 14}$$

The derivative of the stiffness matrix and the initial stress matrix (i.e. dK/dx_j and dK_σ/dx_j) are determined analytically at the finite element level. The derivative of the stiffness matrix with respect to thickness, dK/dx_j is trivial, since dK/dx_j depends on thickness explicitly.

The initial stress matrix, K_σ, is a function that depends on thickness explicitly and implicitly through the displacement field, i.e. $K_\sigma = K_\sigma(U(t), t)$. According to the nomenclature of the adjoint method, if $\Phi_r^T \frac{\partial K_\sigma}{\partial U}\Phi_r$ is the adjoint force, R_{adj}, then the adjoint variable, V_{adj}, is defined as (Neves, Rodrigues, & Guedes, Generalized topology design of structures with a buckling load criterion, 1995):

$$V_{adj} \equiv \left(\Phi_r^T \frac{\partial K_\sigma}{\partial U}\Phi_r K^{-1}\right)^T = K^{-1} \left(\Phi_r^T \frac{\partial K_\sigma}{\partial U}\Phi_r\right)^T. \qquad \text{Eq. 15}$$

This definition makes use of the symmetry property of the stiffness matrix K. The calculation of the adjoint variable requires the inversion of matrix, i.e. K^{-1}. However, this inversion is computationally too expensive. Multiplying both sides of the equation by K, the adjoint problem similar to static analysis with finite element approximation is obtained:

$$K V_{adj} = R_{adj}. \qquad \text{Eq. 16}$$

We chose to solve the problem in MatLab® using the command "mldivide \". The calculation of initial stress matrix sensitivity using the adjoint variable is:

$$\Phi_r{}^T \frac{dK_\sigma}{dx_j} \Phi_r = \left(\Phi_r{}^T \frac{\partial K_\sigma}{\partial x_j} \Phi_r - V_{adj}{}^T \frac{dK}{dx_j} U \right). \qquad \text{Eq. 17}$$

Finally, introducing Eq.17 into Eq.14, the sensitivity of the simple eigenvalue is given by

$$\frac{d\lambda_r}{dx_j} = -\Phi_r{}^T \frac{dK}{dx_j} \Phi_r + \lambda_r \left(\Phi_r{}^T \frac{\partial K_\sigma}{\partial x_j} \Phi_r - V_{adj}{}^T \frac{dK}{dx_j} U \right). \qquad \text{Eq. 18}$$

The objective function is the inverse of λ_r (see Eq.10). Therefore, we calculate the sensitivity of the objective function using the quotient derivative rule:

$$\frac{d}{dx_j} \left(\frac{1}{\lambda_r} \right) = -\frac{1}{\lambda_r{}^2} \frac{d\lambda_r}{dx_j} \; . \qquad \text{Eq. 19}$$

Until now, the sensitivity was derived for single eigenvalues. When there are repeated eigenvalues, the objective function is not differentiated. In order to overcome this difficulty, an auxiliary routine based on the Generalized Gradient concept (Clark, 1983) is introduced. The mathematical formulation is presented in the next section.

3.2. Design sensitivity analysis of multiple eigenvalues

This Generalized Gradient technique was used for dimensional optimization of plates and beams with critical buckling load criterion by Folgado and Rodrigues (Folgado & Rodrigues, 1998) and Rodrigues et al. (Rodrigues, Guedes, & Bendsoe, 1995).

Let consider a general iteration "$\mathbf{k}$". At this iteration it is necessary to define the decreasing direction of the objective function in the current design. To characterize that direction let $\varepsilon > 0$ be a small number defined by the user (e.g. $\varepsilon = 0.03$) and let m_ε, which we will call ε-multiplicity of λ_{cr}, be equal to the number of eigenvalues satisfying the inequality:

$$(\lambda_r - \lambda_{cr}) \leq \varepsilon \, \lambda_{cr}. \qquad \text{Eq. 20}$$

After defining this criterion, sub-gradients, $d\lambda_r/dx_j$, which satisfy the previous condition (i.e. $d\lambda_r/dx_j$ with $r = 1, 2, \ldots, m_\varepsilon$) are calculated. With the sub-gradients, a convex space $\mathbf{W}$ is constructed (Neves, Sigmund, & Bendsoe, 2002):

$$W = co\left\{ d_g = \sum_{r=1}^{m_\varepsilon} \omega_r \frac{d\,\lambda_r}{dx_j} : \omega_r \geq 0 \text{ e } \sum_{r=1}^{m_\varepsilon} \omega_r = 1 \right\}. \qquad \text{Eq. 21}$$

The descent direction of the objective function is given by vector $\widetilde{\mathbf{d}_g}$, which belongs to $\mathbf{W}$, and whose norm is minimum. $\widetilde{\mathbf{d}_g}$ is calculated by formulating the following minimization problem (Dem'yanov & Malozemov, 1990; Kiwiel, 1985):

$$\|\widetilde{\mathbf{d}_g}\|^2 = -\min_{\mathbf{d}_g \in \mathbf{W}} \|\mathbf{d}_g\|^2. \qquad \text{Eq. 22}$$

If $0 \in \mathbf{W}$, then $\widetilde{\mathbf{d}_g} = \mathbf{0}$, and there is no descent direction, lying in the objective function in a stationary point. However, note that $\widetilde{\mathbf{d}_g} \neq \mathbf{0}$ does not imply that design point $\mathbf{x}_j{}^{\mathbf{k}}$ is not a stationary point, since $\mathbf{W}$ is an approximation of the gradient. The problem of minimizing the $\mathbf{d}_g$ norm was solved using the fmincon function in MatLab®. The algorithm used to solve the problem is the interior point (see references (Waltz, Morales, Nocedal, & Orban, 2006; Byrd, Mary, & Nocedal, 1999)).

3.3. Optimization scheme

The optimization scheme uses the commercial finite element software Ansys® to obtain the linear elastic stability response, namely the displacement field $\mathbf{U}$, the critical load factors $\lambda_\mathbf{r}$ and the respective eigenvectors $\mathbf{\Phi}_\mathbf{r}$. The MMA approach was adopted to solve the optimization problem. The optimization method implemented in this work is represented by the flowchart shown in Figure 1.

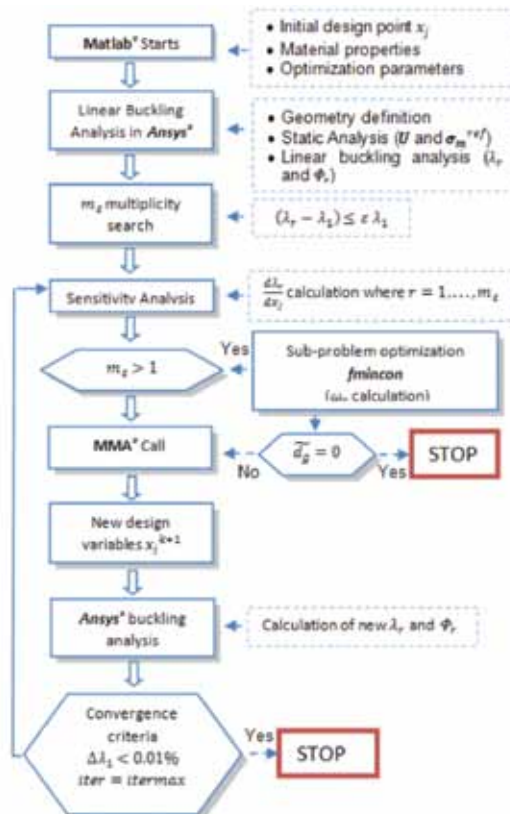



Figure 1: Optimization scheme.

The code built consists of the interface written in MatLab® linking the finite element program Ansys® and MMA in its version of MatLab®. The value of the objective function, the constraints and sensitivities are inputted to MMA algorithm, which calculates a new design point and the new structural response (critical loads, buckling modes, displacements) is again obtained with Ansys®. The solution is converged when the convergence criterion is verified, i.e

$$\Delta\lambda_1 = \frac{\lambda_{k+1} - \lambda_k}{\lambda_{k+1}} < \alpha \qquad \text{Eq. 23}$$

where α is defined by the user.

4. RESULTS

The optimization method was validated through some benchmark examples, namely, beam and plates buckling optimization and it was verified that results are in good agreement with theoretical and Ansys® optimization results. We present here the case of clamped (fixed) - clamped (sliding) beam, for which the optimized solution is known as being bi-modal (Olhoff & Rasmussen).

4.1. Beam optimization

The structure consists on a beam composed by a finite number of segments, $\mathbf{N}$, with uniform sections and equal length. The goal of the optimization problem is to identify the thicknesses of each (piecewise) section $\mathbf{x_j}$, $\mathbf{j = 1, \dots, N}$, to maximize the critical load (objective function) considering the volume constraints.

Figure 2: Finite element mesh of beam

Figure 2 shows a beam divided into 20 equal sections ($\mathbf{N = 20}$). The initial thickness, uniformly distributed along the beam, is $\mathbf{x_j = 0.1\ m}$ and sectional area is $\mathbf{A(x) = 0.05\ m^2}$. The material properties are constant: Young's modulus is $\mathbf{E = 200\ GPa}$ and Poisson's ratio is $\mathbf{v = 0.3}$. The beam section width is constant and equal for all sections: $\mathbf{b = 0.5m}$. The beam length is $\mathbf{l = 10\ m}$ and the length of each section is $\mathbf{l_i = {}^{l}/_{N} = 0.5\ m}$.

For the following examples, we introduce here the Critical Load Optimization Factor ($\mathbf{CLOF}$) in order to compare the efficiency of optimal solutions concerning initial buckling load. This factor is defined as the ratio between the optimized critical load, $\lambda_{\mathbf{opt}}$, and the initial critical load, $\lambda_{\mathbf{initial}}$, i.e. $\mathbf{CLOF} = \frac{\lambda_{opt}}{\lambda_{initial}}$.

The optimization problem was solved by the algorithm described in the previous section. The optimization problem is stated by Eq.10 to Eq.12. The lower bound for design variables is $\mathbf{x}_j^{\min} = \mathbf{10^{-4}}$.

The same problem was also solved in Ansys® using its First Order Optimization Method (FSTOPT) to determine the optimum design point. FSTOPT uses finite differences to approximate gradients which makes the algorithm slower.

Figure 3 shows $\mathbf{CLOF}$ evolution along the optimization process in Ansys® (FSTOPT) and with MMA, where we can see faster convergence with MMA.

a) b)

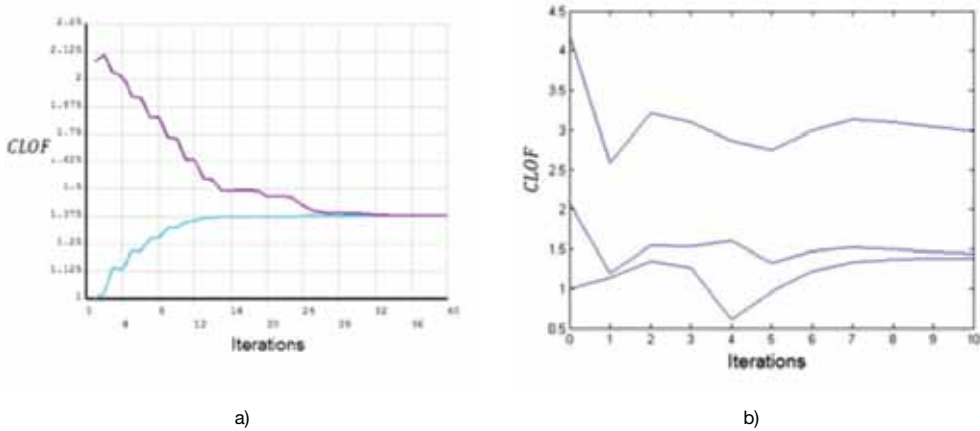



Figure 3: a) FSTOPT convergence; b) MMA convergence.

The optimum solution presents a symmetric and an anti-symmetric buckling mode as illustrated in Figure 4.

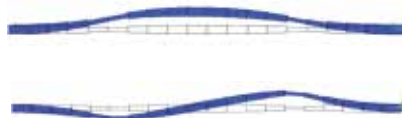



Figure 4: Buckling modes for optimum solution.

The thickness distribution obtained is illustrated in Figure 5.

Figure 5: Thickness distribution.

To compare results, the optimum solution of the Euler-Bernoulli beam is also presented. Bimodal solutions for elastic columns are described in Olhoff and Rasmussen (Olhoff & Rasmussen). For a sectional relation of $\mathbf{I(x) = c\,A(x)^3}$, bimodal solution was obtained by Atanackovic e Alexander (Atanackovic & Seyranian, 2008).

Table 1: Buckling Load Comparison

	Initial	MMA	Ansys®	Euler-Bernoulli solution **(Atanackovic & Seyranian, 2008)**
P_{CR1} [KN]	3 353.4	4 656.9	4 632.5	-
P_{CR2} [KN]		4 770.3	4 633.1	-
CLOF	-	1.38871	1.38144	$54.825 / (4\pi^2) = 1.38874$

The results presented on Table 1 show that **CLOF** is very close to the one derived analytically in [35].

4.2. Parametric study of imperfection sensitivity in a beam with repeated buckling loads

Structural optimization may produce coincident buckling modes, which is sometimes mentioned as very sensitive to imperfections. This phenomenon is called modes interaction and is associated with the simultaneous occurrence (or nearly) of more than one mode. Consequently the load at the first limit point of an imperfect structure is considerably lower than the bifurcation load of the perfect structure (Ho, 1974; Huseyin, 1975; Hutchinson & Amazigo, 1967; Thompson & Hunt, 1973).

One approach, that allows for the imperfections' effect to be included, is based on numerically tracking of the equilibrium path of the imperfect structure before the limit point. This method is very useful, but it requires a separate analysis for each magnitude and imperfection type. In this work, the question is restricted only to a parametric study of critical load sensitivity due to a transverse disturbance on a beam clamped-clamped sliding.

The clamped (fixed) - clamped (sliding) beam is illus-trated in Figure 6. It is axially loaded ($\mathbf{P}$) and the only type of imperfections is a transverse load (μ) at mid-span.

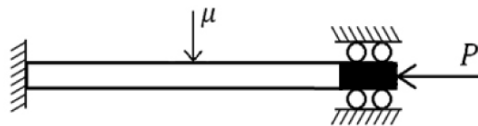



Figure 6: Imperfection introduced by a small transverse load.

The objectives of this study are:

- to verify the "imperfect structure" sensitivity in the optimum solutions;
- to check the structure sensitivity due to the proximity between the lowest bifurcation load factors, i.e., if there is higher sensitivity when critical loads are repeated or closed;
- to verify the influence of the transverse load intensity in the limit load.

In this way, the study consists of two steps: the first is linear buckling optimization in order to get a beam with repeated and closed buckling loads; the second is the nonlinear analysis in order to get the equilibrium path of the perturbed structure, before the limit point.

4.2.1. Optimization results

The optimization problem is stated by Eq.10 to Eq.12. It was solved in Ansys® with the First Order Optimization Method (FSTOPT). An additional constraint is imposed to limit the two lowest critical load factors proximity, i.e., for $\lambda_1 < \lambda_2$, we have:

$$\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1}\right) > \chi. \quad \textbf{Eq. 24}$$

The parameter χ varies from zero through $\chi = 0.05$, $\chi = 0.1$ and $\chi = 0.3$. When $\chi = 0$ one obtains a bi-modal solution.

The critical loads resulting from linear stability optimization are shown in Table 2.

Table 2: Optimal buckling loads in function of χ

	$\chi = 0$	$\chi = 0.05$	$\chi = 0.1$	$\chi = 0.3$
P_{CR1}[KN]	4 632.5	4 631.4	4 610.2	4 519.7
P_{CR1} Decrease	-	0.02 %	0.48 %	2.43 %
P_{CR2}[KN]	4 633.1	4 942.9	5 108.7	6 107.8

As shown in Table 2, P_{CR1} decreases with increasing χ.

a) b)

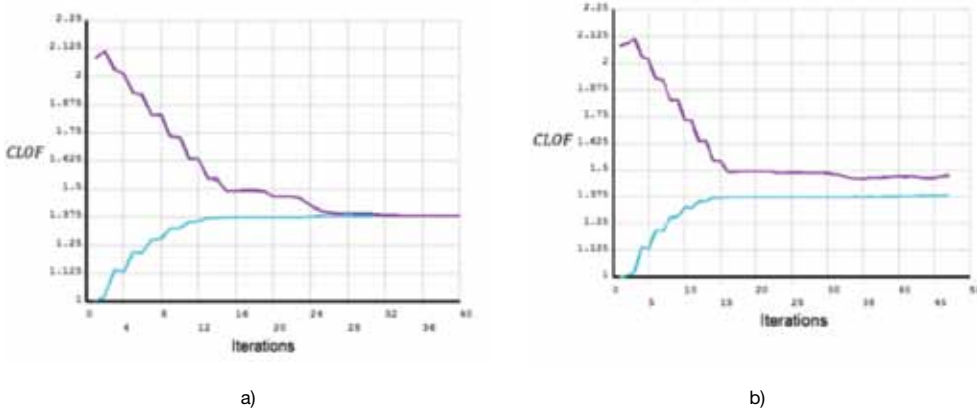



Figure 7: a) CLOF convergence with $\chi = 0$; b) CLOF convergence with $\chi = 0.05$.

Figure 7 a) shows CLOF evolution along the optimization process in Ansys® with $\chi = 0$ and Figure 7 b) shows the same evolution but with $\chi = 0.05$.

a) b)

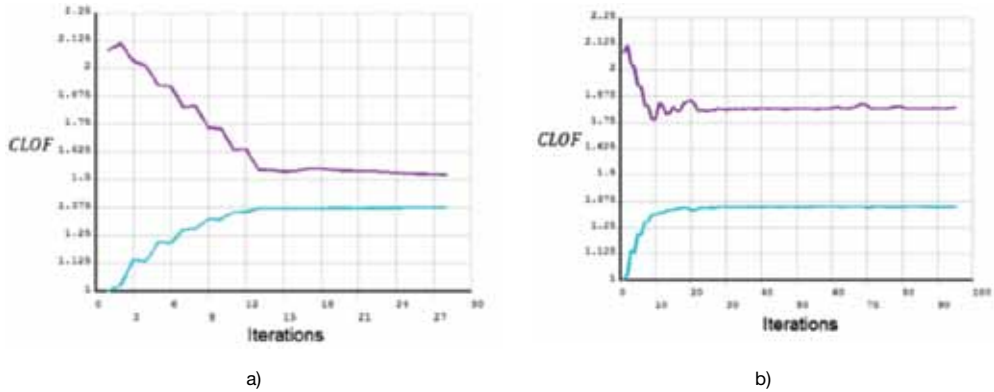



Figure 8: a) $\mathbf{CLOF}$ convergence with $\chi = 0.1$; b) $\mathbf{CLOF}$ convergence with $\chi = 0.3$.

Figure 8 a) shows the $\mathbf{CLOF}$ evolution along the optimization process in Ansys® with $\chi = 0.1$ and Figure 8 b) shows the same evolution but with $\chi = 0.3$. The distance between the first and second curves in the final solution is clearly visible.

4.2.2. Nonlinear analysis

In nonlinear stability analysis, a transverse load (μ) at mid-span was introduced, with the intensity $\mu = 1\ \mathrm{KN}$, as shown in Figure 6. Thus, the transverse load ($\mu = 1\ \mathrm{KN}$) has a relative intensity of $0.0022\ \%$ about $\mathbf{P_{CR1}}$. In a second study, the transverse load $\mu = 10\ \mathrm{KN}$ was introduced, which corresponds to a relative intensity of $0.022\ \%$.

In nonlinear analysis, axial loading was varied form $0\ \%$ to $110\ \%$ of the optimum critical load ($\mathbf{P_{CR1}} = 4\ 632.5$). This value of 110% was established with the aim of analyzing the behavior after the bifurcation, if it exists. The loading was divided into 500 equally spaced increments. With nonlinear analysis, equilibrium path of the perturbed structure is tracked, before the limit point.

In order to compare the efficiency of previous optimum solutions (see Table 2) the Nonlinear Critical Load Factor ($\mathbf{NLCF}$) was used. The factor is defined as the ratio between the applied load on nonlinear analysis, $\lambda_{\mathbf{NL}}$, and the optimum critical load ($\lambda_{\mathbf{opt}} = \mathbf{P_{CR1}}$ with $\chi = \mathbf{0}$) i.e. $\mathbf{NLCF} = \frac{\lambda_{\mathbf{NL}}}{\lambda_{\mathbf{opt}}}$.

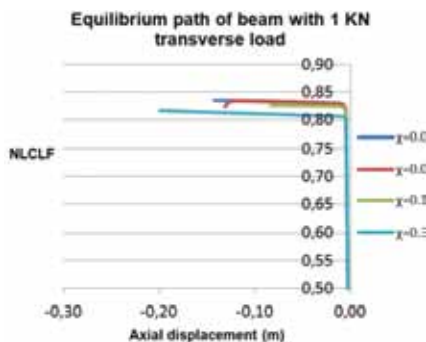



Figure 9: Equilibrium path of beam with 1 KN transverse load.

Figure 9 shows the diagram of $\mathbf{NLCF}$ versus axial displacement for an applied disturbance $\mu = 10\ \mathbf{KN}$. It can be observed that the end point of each equilibrium curve decreases as χ increases and there is no increase of resistance after buckling or, when it exists (for $\chi = \mathbf{0.3}$), it is small. For $\chi = \mathbf{0}$ the critical load was decreased 16.0% and for $\chi = \mathbf{0.05}$ was decreased 16.7%. For $\chi = 0.2$, critical load diminished 16.84% and for $\chi = \mathbf{0.3}$ it diminished 18.2%.

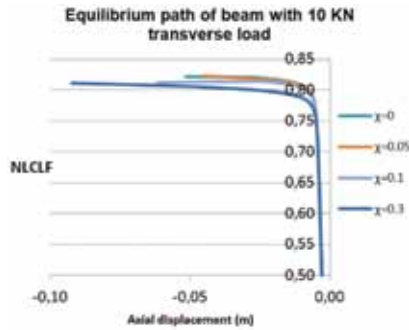



Figure 10: Equilibrium path of beam with 10 KN transverse load.

Figure 10 shows the diagram of $\mathbf{NLCF}$ versus axial displacement for an applied disturbance $\mu = 10\ \mathbf{KN}$. For $\chi = \mathbf{0}$ and $\chi = \mathbf{0.05}$ was obtained a 17.9% decrease of the critical load for $\chi = \mathbf{0.1}$ it was observed a decrease of 18.6% and for $\chi = \mathbf{0.3}$ it was 17.3%.

4.2.3. Results and discussion

Given these results, it can be concluded that, in this structure, sensitivity to transversal loads in the various optimized solutions exists, once the critical load decreases between 16% and 18%.

It seems that the structure sensitivity to transverse perturbations does not vary with the proximity between the first bifurcation loads. Also in the nonlinear analysis, the trend observed in Table 2 remains, i.e. the limit point decreases with increasing χ, with exception for $\chi = \mathbf{0.3}$ where the post-buckling has some resistance increase. So, it can be stated that critical load proximity did not show to be more sensitive to perturbations in these cases.

Furthermore, independently of the intensity of μ, it is observed that $\chi = \mathbf{0}$ solution has a higher limit point, which indicates that perturbation intensity seems not to bring critical load sensitivity due to proximity/repetition critical loads. However, critical load sensitivity depends on μ intensity. More specifically, increasing the transversal disturbance 900% (μ passes from $1\ \mathbf{KN}$ to $10\ \mathbf{KN}$) the critical load decreased about 1.9% for optimum solution with $\chi = \mathbf{0}$.

4.3. Optimization of a simplified aeronautic component

As mentioned above, in structures where nonlinearities are relevant, linear stability analysis and critical Euler load optimization may not be appropriate. However, in some cases there is a hypothesis of geometry and loading simplification so that the problem complies with the

necessary conditions to study the stability with linear approach. The purpose of this section is to test, using nonlinear stability analysis, if the critical load increases after optimization of critical load. To optimize the buckling load it was necessary to simplify both geometry (planning) and loads (only membrane forces are applied) to check the linear stability conditions. The methodology used in this section consists of a sequence of steps which are outlined in Fig

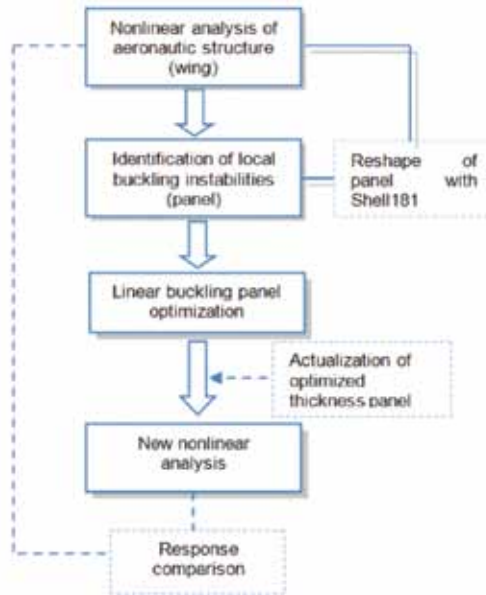



Figure 11: Analysis and optimization flowchart.

The methodology is applied to a structural model based on A320/B737 wing with Whitcomb supercritical airfoil. The internal structure is in agreement with the constraints resulting from structural drawings. The aerodynamic loading is related to flight at Mach 0.7, 11000 meters altitude and 2 degrees of angle of attack.

Initially, a nonlinear stability analysis of aircraft structure (wing) is performed globally, with the aim of identifying local instabilities. Later, a component presenting local instabilities (i.e. one panel) in the former analysis is selected. In order to maximize the linear buckling load factor the problem was simplified, i.e., only membrane forces are applied and the panel was flattened. Finally, the optimal panel thickness was updated in the overall structure (wing). Again, a nonlinear analysis was performed to compare the load-displacement diagram and the value of the first load branch. The following section presents some details on the above mentioned steps.

4.3.1. Nonlinear stability analysis

During nonlinear analysis, although change in stiffness is taken into account, due to deformation, there is no change in the aerodynamic loading, which means that load is simplified. To solve the nonlinear equations, the Newton-Raphson method is used. In this method the load is incrementally applied and in this problem it was divided into 25 equally spaced increments. The application of load is referenced to the wing loading factor ($\mathbf{WLF}$) defined as:

$$\mathrm{WLF} = \frac{\text{Applied load}}{\text{Flight loading condition}} \qquad \text{Eq. 25}$$

The incremental load is applied on the nodes varying from $\mathrm{WLF} = 0$ to $\mathrm{WLF} = 1.24$.

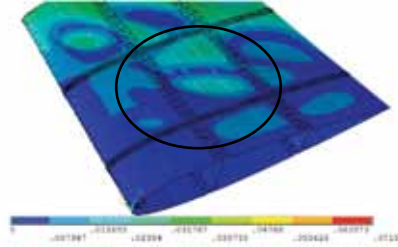



Figure 12: Upper surface wing panels characterized by local buckling.

The first buckling modes correspond to upper surface wing panel indicated by the circle in Figure 12, is shown in Figure 13 for different WLF.

a) b)

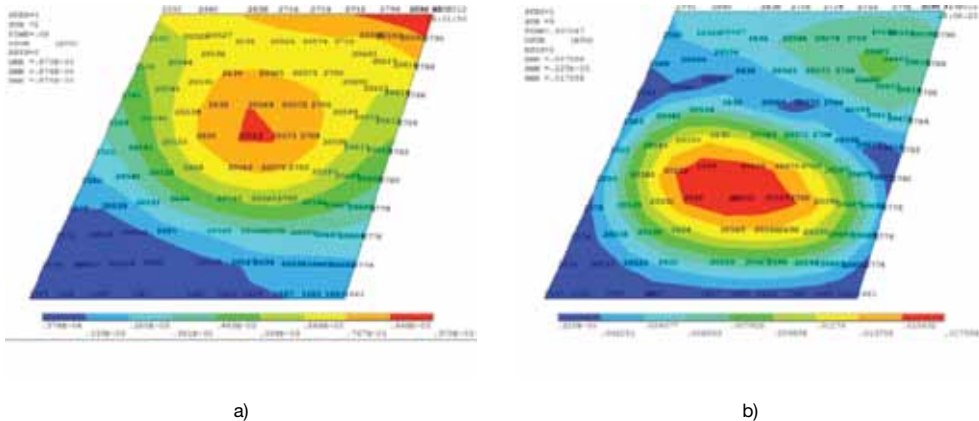



Figure 13 - a) Panel local buckling with $\mathrm{WLF} = 0.02$; b) Panel local buckling with $\mathrm{WLF} = 0.2$.

In Figure 13 a), with $\mathrm{WLF} = 0.02$ buckling deformation is characterized by one wave and by a maximum displacement at node 20563. As we can see for $\mathrm{WLF} = 0.2$ the buckling deformation also has one wave.

In the following section, the optimization method described above is applied to the isolated panel.

4.3.2. Linear buckling panel optimization

In order to simulate the behavior of the panel embedded in the wing, the boundary conditions that allow extremities rotation without allowing axial displacements are applied.

To obtain the linear stability conditions, it was necessary to make two simplifications in the panel: only membrane forces were applied and the panel was flattened. Thus, the stability response was studied by using the Euler approach, i.e. using Eq.8.

Membrane efforts were taken from a nonlinear analysis with $\mathbf{WLF = 0.04}$. With this, buckling deformation in nonlinear analysis is similar to buckling mode that becomes with linear stability analysis. Thus, the linearized problem consists of trapezoidal plate with uniform section and constants and homogeneous material properties, which has 95 elements. Young's modulus is $\mathbf{E = 70\ GPa}$ and Poisson's ratio is $\mathbf{v = 0.3}$.

The goal is to determine the thicknesses distribution $\mathbf{x_j}$ in order to maximize the critical load. The minimum allowable thickness is $\mathbf{x_j^{min} = 10^{-3} m}$ and the maximum is $\mathbf{x_j^{max} = 8 \times 10^{-3} m}$. The initial volume is $\mathbf{V_{initial} = 0.0103786\ m^3}$. Figure 14 shows the evolution of the inverse of the objective function throughout the optimization process.

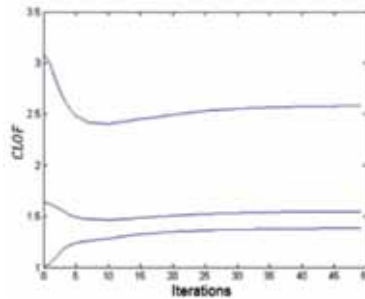



Figure 14: Buckling critical locad convergence with MMA.

After 50 iterations, critical load increases 38.2%. The three lines in Figure 15 represent the evolution of the first, second and third critical buckling load factors with the iterations.

4.3.3. Nonlinear results and discussion

After linear buckling optimization, panel thickness was updated on the wing model. A new nonlinear stability analysis was performed. In this analysis, the assumptions and simplifications are the same as with the first nonlinear analysis. The load was divided in the same number of increments and the method to solve nonlinear equations was also the Newton-Raphson method.

Comparison of results is made by a load-displacement diagram on node 20562 (see location of the nodes in Figure 13), where the transversal displacement is maximum.

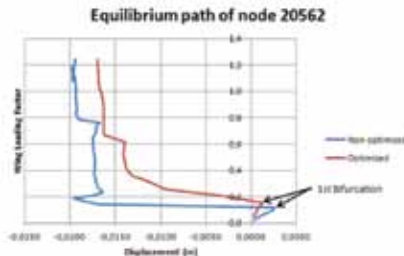



Figure 16: Load-displacement transverse on node 20562.

From Figure 16, it can be seen that nonlinear analysis showed the first bifurcation load 30% higher than the bifurcation load obtained with non-optimized structure. More specifically, in the optimized

structure WLF bifurcation point is 0.155 while in the non-optimized structure WLF bifurcation point is 0.1192. Moreover, for the same load, displacement after and before bifurcation is reduced.

It can be concluded that the working hypotheses do not significantly penalize the optimization results because the panel was slightly curved and because nonlinear behavior in the pre-buckling configuration is not very pronounced before the bifurcation point (see, in Figure 16, where the equilibrium path before the bifurcation is approximately linear). More specifically, after optimization of stability in linear regime, the WLF bifurcation point corresponds to 38.2% increase and in nonlinear analysis that increase became 30%.

5. FINAL CONCLUSIONS

As a general conclusion, it can be stated that in the upper wing panel example, characterized by local buckling, the linear buckling optimization was able to produce a critical load increasing as was checked through a nonlinear analysis. It can be concluded that in this case the assumptions and simplifications considered do not significantly penalize the optimization results, since the panel is slightly curved and because nonlinear behavior in the pre-buckling configuration is not very pronounced before the bifurcation point.

Since linear buckling optimization does not enable inclusion of imperfections effects, imperfection effects on a clamped-clamped beam were addressed here, where a transverse load at the mid-span is applied. For that case, critical load sensitivity due to the proximity between the lowest buckling load was not verified.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

I am very grateful to Professor Miguel Matos Neves and Professor Maria Alexandra Gomes for their availability during the orientation of my dissertation.

I am also thankful to Professor Krister Svanberg for providing his MatLab® version of the Method of Moving Asymptotes.

I thank Ricardo Paiva for yielding a wing model written in APDL.

7. REFERENCES

ANSYS® Academic Research, R. 1. (s.d.). Help System // Theory Reference // 3. Structures with Geometric Nonlinearities // 3.4. Stress Stiffening.

ANSYS® Academic Research, R. 1. (s.d.). ANSYS® 14.0 Help // Theory Reference // 15. Analysis Tools // 15.16. Eigenvalue and Eigenvector Extraction.

Atanackovic, T. M., & Seyranian, A. P. (2008). **Application of Pontryagin's principle to bimodal optimization problems**. *Structural and Multidisciplinary Optimization , 37* (1), 1-12.

Bathe, K. J. (1982). ***Finite Element Procedures in Engineering Analysis***. New Jersey: Prentice-Hall.

Bendsoe, M., & Sigmund, O. (2002). ***Topology Optimization. Theory Methods and Applications***. Springer.

Byrd, R. H., Mary, E. H., & Nocedal, J. (1999). **An interior Point Algorithm for Large-Scale Nonlinear Programming**. *SIAM Journal on Optimization , 9*, 877-900.

Clark, F. (1983). ***Optimization and Non-Smooth Analysis.*** New York: Wiley-Interscience Publication.

Cook, R., Malkus, D., Plesha, M., & Witt, R. (2002). ***Concepts and Applications of Finite Element Analysis*** (4 ed.). John Wiley & Sons.

Dem'yanov, V., & Malozemov, V. (1990). ***Introduction to Minimax.*** New York: Dover Publications.

Folgado, J., & Rodrigues, H. (1998). **Structural Optimization with a Non-Smooth Buckling Load Criterion**. *Control and Cybernetics , 27* (2), 235-253.

Gambhir, M. L. (2004). ***Stability Analysis and Design of Structures.*** Germany: Springer.

Ho, D. (1974). **Buckling load of nonlinear systems with multiple eigenvalues**. *International Journal of Solids and Structures , 10* (11), 1315-1330.

Huseyin, K. (1975). ***Nonlinear Theory of Elastic Stability.*** Noordhoff, Leyden: Springer.

Hutchinson, J., & Amazigo, C. (1967). **Imperfection-sensitivity of eccentrically stiffened cylindrical shells**. *J. AIAA , 5* (3), 392-401.

Kiwiel, K. (1985). ***Methods of Descent for Nondifferentiable Optimization.*** Berlin: Springer.

Lindgaard, E., & Erik, L. (2010). **Nonlinear buckling optimization of composite structures.** ***Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*** *, 199* (37-40), 2319-2330.

Lindgaard, E., & Lund, E. (2010). **A unified approach to nonlinear buckling optimization of composite structures**. *Computers & Structures , 89* (3-4), 357-370.

Lindgaard, E., & Lund, E. (2010). **Optimization of Composite Structures considering Local Buckling**. *IV European Conference on Computational Mechanics.* Paris, France: IV European Conference on Computational Mechanics.

Lindgaard, E., Lund, E., & Rasmussen, K. (2010). Nonlinear **buckling optimization of composite structures considering "worst" shape imperfections**. *International Journal of Solids and Structures , 47* (22-23), 3189-3202.

Lund, E., & Lindgaard, E. (2010). **Non-linear Buckling Multi-Material Topology Optimization including "worst" Shape Imperfections**. *18th International Conference on Composite Materials.* Paris, France: IV European Conference on Computational Mechanics.

Neves, M. M., Rodrigues, H. C., & Guedes, J. M. (1995). **Generalized topology design of structures with a buckling load criterion**. *Structural Optimization , 10* (2), 71-78.

Neves, M. M., Rodrigues, H. C., & Guedes, J. M. (2000). **Optimal Design of Periodic Linear Elastic Microstructures**. *Computers and Structures , 76* (1-3), 421-429.

Neves, M. M., Sigmund, O., & Bendsoe, M. P. (2002). **Topology optimization of periodic microstructures with a penalization of highly localized buckling modes**. *International Journal for Numerical Methods in Engineering , 54* (6), 809-834.

Olhoff, N., & Rasmussen, S. **On single and bimodal optimum buckling loads of clamped columns**. *International Journal of Solids and Structures , 13*, 605-614.

Rahmatalla, S., & Swan, C. (2003). **Continuum Topology Optimization of Buckling Sensitive Structures**. *AIAA Journal , 41* (6), 1180-1189.

Reddy, J. (2004). ***Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells: theory and analysis*** (2 ed.). CRC Press.

Reis, A., & Camotim, D. (2001). ***Estabilidade Estrutural.*** McGraw Hill.

Rodrigues, H. C., Guedes, J. M., & Bendsoe, M. P. (1995). **Necessary conditions for optimal design structures with non smooth eigenvalue based criterion**. *Structural Optimization , 9*, 52-56.

Svanberg, K. (2002). **A class of globally convergent optimization methods based on conservative convez separable approximations.** *Society for Industrial and Applied Mathematics Journal Optimization , 12* (2), 555-573.

Svanberg, K. ***MMA and GCMMA****, versions Setember 2007.* KTH, Stockholm, Sweden: Optimization and Systems Theory.

Svanberg, K. (1987). **The Method of Moving Asymptotes - A new method for structural optimization**. *International Journal for Numerical Methods in Engineering , 24* (2), 359-373.

Thompson, J., & Hunt, G. (1973). ***A General Theory of Elastic Stability.*** New,York: J. Wiley.

Timoshenko, S., & Gere, J. (1963). ***Theory of Elastic Stability.*** McGraw-Hill.

Waltz, R. A., Morales, J. L., Nocedal, J., & Orban, D. (2006). **An interior algorithm for nonlinear optimization that combines line search and trust region steps**. *Mathematical Programming , 107* (3), 391-408.

Williams, J. C., & Starke Jr, E. A. (2003). **Progress in structural materials for aerospace systems**. *Acta Materialia , 51* (19), 5775-5799.

Zhou, M. (2004). **Topology Optimization for Shell Structures with Linear Buckling Responses**. *VI World Computational Congress Mechanics in conjunction with APCOM'04.* Beijing, China: Tsinghua University Press & Springer-Verlag.

Análise de Dados
para Cálculo dos Indicadores de Fiabilidade

Autora: Rute Leal, Tenente Aluna da Especialidade de Manutenção de Material Aéreo
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientadora: Alice Rodrigues, Major Engenheira Aeronáutica
Departamento de Engenharia e Programas, Comando da Logística, Força Aérea Portuguesa

Co-Orientadores: Frederico Alves, Tenente Engenheiro Aeronáutico
Direção de Engenharia e Programas, Comando da Logística, Força Aérea Portuguesa

Filipe Pedro, Tenente Engenheiro Aeronáutico
Direção de Manutenção de Sistemas de Armas, Comando da Logística, Força Aérea Portuguesa

Resumo: A necessidade de obter uma perspetiva clara e objetiva ao nível da fiabilidade de componentes/equipamentos e aeronaves na Força Aérea Portuguesa (FAP), aliada à futura implementação de um Programa de Fiabilidade de Aeronaves (PFA) foram os motivos para o desenvolvimento deste trabalho. O presente artigo descreve a metodologia desenvolvida e os seus resultados que pretenderam identificar premissas para o cálculo dos indicadores de fiabilidade, definir critérios de pesquisa, os quais servem como base na descrição de novos requisitos informacionais bem como uma avaliação quantitativa e qualitativa dos dados disponíveis nas plataformas de registo usadas.

Palavras-Chave: Fiabilidade, Manutenção, Indicadores de Fiabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O grande objetivo da aviação rege-se pela dualidade entre garantir a aeronavegabilidade e a prontidão dos meios tendo sempre em vista uma perspetiva económica. Assim Importa pensar na manutenção com o objetivo de maximizar a eficiência dos equipamentos, Este objetivo de eficácia é por sua vez mensurável através de indicadores apropriados que meçam o grau de prossecução dos objetivos. Todo este controlo é possível de ser realizado com a implementação de programas de fiabilidade de aeronaves (PFA), os quais quando adaptados proficientemente otimizam todo o processo de gestão de manutenção. O seu principal objetivo é monitorizar o desempenho das aeronaves e dos seus respetivos componentes e sistemas e alertar para qualquer necessidade de ações corretivas, intervenções (*Kinnison*, 2004). A base de informação de um PFA são os indicadores, sendo eles o objeto de análise para o desencadeamento de ações.

2. ENQUADRAMENTO

A base de todo o PFA é a informação que se obtém através da recolha e análise de dados, é crucial garantir que esta informação seja válida e fiável, para que se possam tomar decisões assertivas quanto aos resultados apresentados. Um PFA não se resume apenas ao cálculo de indicadores, no entanto estes que sustentam a sua possibilidade de implementação. Um indicador de manutenção tem interesse para efeitos comparativos, de forma a propiciar informação ao técnico ou gestor para que possam procurar as razões da existência de tais diferenças, tentar tirar conclusões e melhorar. O que torna decisivo o uso de um determinado indicador na gestão da manutenção é a sua facilidade de cálculo a partir da informação gerada no dia a dia, pelo que é crucial definir com precisão o seu conteúdo e forma de cálculo, bem como a definição de períodos com significado, pelo que a avaliação dos dados em termos de qualidade e quantidade é crucial no sentido de proporcionar uma reprodução fiel à realidade de cada SA.

3. INDICADORES DE FIABILIDADE NA FORÇA AÉREA

Segue-se uma breve descrição teórica de cada um dos indicadores, definidos pelo Núcleo de fiabilidade e Avaliação de Condição – Direção de Engenharia e Programas - Departamento de Engenharia, que foram determinados como essenciais à aplicação de um PFA e cujo cálculo faz sentido numa organização como a FAP.

TCM – Taxa de Cumprimento de Missão – traduz a percentagem de voos que não sofreram cancelamentos, e visa ainda proporcionar uma indicação geral de fiabilidade e segurança de operação.

DAC – Disponibilidade Operacional de Aeronaves – definido como a "probabilidade de um órgão se encontrar pronto para funcionar num intervalo de tempo futuro qualquer" (Assis, 2010).

IFSD – Índice de Cortes do Motor em Voo – são as situações em que um motor cessa a sua função em voo por motivo de avaria ou suspeita de avaria.

PIREPS – Incidentes Durante Operação – parâmetro de controlo primário usado para controlo de fiabilidade de sistemas. Reporta o total de incidentes registados pela tripulação no pré e nos pós voo, por horas voadas num determinado período.

MAREPS – Incidentes durante manutenção **–** quantificação de incidentes técnicos associados a sistemas durante a manutenção. Fornece o número de incidentes reportados pela manutenção, por horas voadas num determinado período.

IRP – Índice de Remoções Prematuras – a taxa com que os componentes são removidos pode variar bastante, dependendo do equipamento ou sistema envolvido. Se a taxa não for aceitável, poderá ser realizada uma investigação e tomadas as ações corretivas mais convenientes.

MTBUR **–** Tempo Médio entre Remoções Não Programadas – quanto menor for o seu valor, mais relevante é para a análise, pois aumenta a probabilidade de substituição.

MTBF – Tempo Médio entre Falhas – representa o tempo que decorre, em média, entre duas avarias consecutivas num sistema.

MTTF – Tempo Médio até à Falha – usado para sistemas não reparáveis, proporciona uma ideia simples de fiabilidade de um qualquer componente que é substituído por um novo componente à medida que vai falhando.

4. ANÁLISE DE DADOS DISPONÍVEIS NA FORÇA AÉREA

A informação surge de tudo o que envolve a atividade aérea. Os registos relativos a esta atividade surgem de diversa documentação sendo posteriormente transferidos para registo informático pelo uso dos sistemas de informação disponíveis, para tal a FAP utiliza um Sistema Integrado de Apoio à Gestão (SIAGFA) composto por diversos módulos, dos quais são destacados no âmbito deste trabalho, o Módulo Gestão de Manutenção (MGM), e o Módulo de Operações (MO).

O SA usado para a realização deste projeto foi o SA que constitui a Esquadra 601 – Os Lobos, que se encontra sedeada na base aérea nº 11 em Beja, com um módulo de cinco aeronaves atribuídas com o modelo P3C Cup Plus.

4.1 Caracterização dos Indicadores

Segue-se uma breve explicação do método de obtenção de dados de cada uma das variáveis para cada indicador, a especificação das respetivas premissas adotadas bem como a exibição de dados proposta para cada um.

TCM – Taxa de Cumprimento Missão – Para obter a informação que se pretende medir, é proposta a seguinte formula:

$$TCM = \left[\frac{Vp - NVC_{Tot}}{Vp} \right] * 100$$

Vp – Voos programados

NVCTot – Número de voos cancelados

Este indicador é útil em termos operacionais, no entanto do ponto de vista da manutenção é necessário definir o número de voos cancelados por motivos técnicos, fazem parte os motivos da categoria indisponibilidade de material: Aeronave; Equipamentos Missão / Sensores; Armamento.

Os pressupostos considerados para a obtenção dos dados para o cálculo deste indicador são os seguintes:

- Voos programados - todas as missões registadas no SIAGFA-MO, pelo Comando Aéreo (CA) ou pela Unidade Base (UB).
- Existem *Airtask* que são permanentes, referem-se a missões de alerta (F156, EH101 etc.), no entanto em termos de SIAGFA, o seu registo apenas surge quando existe ordem de execução da missão.
- Não são contabilizados os atrasos (*delays*).

Para representar a informação obtida propõe-se o gráfico seguinte, que representa a percentagem de cumprimento de missão, bem como a taxa de incumprimento por motivos técnicos (inerentes à manutenção).

Figura 1: Representação gráfica anual do TCM com médias móveis a 3 e a 12 meses

Para complementar o estudo deste indicador, é importante definir o objetivo de cumprimento de missão para cada sistema de armas.

DAC – Disponibilidade Operacional de Aeronaves -traduz a probabilidade de uma aeronave estar operativa, pelo que se propõe a seguinte formula:

$$D_{AC} = \left[\frac{(PC + PI)}{TH} \right] * 100$$

PC – Total de horas em que determinada aeronave esteve na situação de pronta completa (PC)

PI – Total de horas em que determinada aeronave esteve na situação de pronta incompleta (PI)

TH – Total de horas do período em análise

Para método de recolha de dados define-se o período de análise para fazer o levantamento do total de horas que cada Número de Cauda (N/C) esteva nas situações de PI e PC, esta informação é obtida usando o módulo MGM:

PC e PI – são obtidos a partir do histórico operacional de aeronave.
TH – é obtida multiplicado o total de dias do período em análise por 24h.

A partir do histórico operacional da aeronave, obtêm-se as horas relativas a todas as situações previstas na FAP, em termos de situação de aeronaves.

No que respeita à apresentação dos dados pretende-se realçar para cada mês o número de dias que cada aeronave esteve fora de serviço bem como a disponibilidade em percentagem. Para tal propõe-se o seguinte *layout*:

Disponibilidade				
Ano 2012	Mês Set.	**N/C**	**Dias fora de Operação**	**Disp. %**
FROTA A38 P3C CUP PLUS		14807	21	31,6%
		14808	30	0,0%
		14809	30	0,0%
		14810	2	92,2%
		14811	30	0,0%

Figura 2: Dias fora de operação por N/C referente ao mês de setembro de 2012

Analisando os dados da figura anterior, importa perceber o que motivou o fora de serviço. Assim, no gráfico que se segue é explicitado o que levou à situação de indisponibilidade de operação:

Figura 3: Representação da situação operacional mensal por N/C

- Dias_Operação - total dias nas situações PC e PI.
- TMC - total de dias em situação de manutenção corretiva.
- TMP - total de dias em situação de manutenção preventiva.
- ALDT - total de dias em que situações de atrasos logísticos ou administrativos.

IFSDR – Índice de Cortes do Motor em Voo – parâmetro primário de controlo que deve ser utilizado no que respeita a fiabilidade de motores.

$$IFSDR = \left[\frac{\text{IFSD}}{HO} \right] * 100$$

IFSD – Número de cortes do motor em voo no período considerado

HO – Horas de Operação do motor, no mesmo período

Este índice representa um fator critico e de extrema importância em termos de segurança, pelo que o registo destas situações críticas é feita no âmbito da prevenção de acidentes, por meio da realização de uma divulgação de ocorrência (DIVOC) para o Gabinete de Prevenção de Acidentes (GPA). Para cada sistema de armas de acordo com o tipo de aeronave importa definir os respetivos limites em termos de segurança, de acordo com o histórico de ocorrências, tipo de motor e ainda o número de motores por aeronave.

PIREPS – Incidentes Durante Operação – este indicador permite quantificar os incidentes técnicos associados a sistemas, durante as fases: Pré Voo; Voo; Pós Voo e Entre Voos. O que distingue cada fase é o momento em que foi detetada a anomalia. A fórmula proposta para o seu cálculo é:

$$PIREPS = \left[\frac{(IV*100)}{H_{VOO}} \right]$$

IV – Incidentes em voo

H_{VOO} – Total de horas de voo no período em análise

Contabiliza os incidentes em voo em 100 horas voadas (parâmetro de uniformização). Estes incidentes são distribuídos pelos vários sistemas identificados pelos dois primeiros dígitos (à esquerda) que fazem parte do Código Unidade de Trabalho (CUT) e por aeronave.

As premissas definidas para a obtenção dos dados para cálculo da variável IV são:

- Considerar apenas situações de manutenção não programada.
- Os incidentes contabilizados devem corresponder às fases definidas.
- Ações de canibalização e sem defeito não são contabilizadas. Existe uma exceção para o caso de registo de "sem defeito – avaria não confirmada". estas são contabilizadas, de forma a salvaguardar situações de reincidência.
- Ações referentes a instalações e a manutenções oficiais (MOF) não se contabilizam.

MAREPS – Incidentes Durante Manutenção – permite quantificar os incidentes técnicos associados a sistemas, durante as fases, que não se consideraram para o PIREPS. Assim, a formula proposta para o seu cálculo é:

$$MAREPS = \left[\frac{(IM*100)}{HV} \right]$$

IM – Incidentes na manutenção

HV– Total de horas de voo no período em análise

Tal como para o PIREPS, este índice contabiliza os incidentes na manutenção em 100 horas voadas por sistema e por aeronave.

Os pressupostos base para este índice são idênticos aos referidos para a variável IV do PIREPS, a única diferença reside no momento de deteção da anomalia.

A representação dos PIREPS & MAREPS é feita inicialmente em conjunto, uma vez que assim proporcionam uma visão mais alargada dos sistemas. Para obter uma contagem mensal de PIREPS e MAREPS por sistema é necessário recorrer à árvore de CUT's, para definir os sistemas de cada SA. Numa primeira fase faz-se a recolha dos dados e a contagem. Numa segunda fase, procede-se ao tratamento estatístico, o qual inclui a determinação de índices de alerta (IA), que vão permitir o controlo dos incidentes.

A tabela que se segue apresenta o total de incidentes (PIREP e MAREP) relativas a um mês, por sistema e por N/C. Dá uma visão geral dos incidentes relativamente aos vários sistemas no mês em estudo, podendo esta representação servir de alerta para situações anómalas, tal como um número elevado de incidentes em determinado sistema.

Tabela 1: Total de Incidentes PIREP e MAREP referentes ao mês de setembro de 2012

Total de Queixas PIREP & MAREP										
Ano: 2012	Mês: Set	Frota: A38								
Sist	N/C - 14807		N/C 14808		N/C 14809		N/C 14810		N/C 14811	
	PIREPS	MAREPS	PIREPS	MAREPS	PIREPS	MAREPS	PIREPS	MAREPS	PIREPS	MAREPS
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	6	0	0	3
14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	1	0	0	0	0	[illegible]	2	0	[illegible]

O que importa com este registo é verificar por sistema quantos incidentes (PIREPS e MAREPS) foram reportados e definir um nível de alerta para cada sistema. No entanto ao preencher esta tabela, importa analisar toda a informação, pois podem existir casos em que um alerta dado pela tabela possa ser de fato um falso alerta. O que se faz é um estudo mais aprofundado para cada sistema, onde seja possível visualizar a sua evolução ao longo do tempo.

Para tal é necessário realizar quatro passos distintos para cada sistema.

1. Calcular a taxa de incidentes (PIREP/MAREP) por cada 100 HVOO.
2. Cálculo da média para os dois tipos de incidentes.
3. Cálculo do desvio padrão.
4. Calculo do índice de alerta, considerando o fator de desvio (k) adequado à dispersão de dados em análise.

A seguinte tabela, é uma proposta para o registo mensal do total de incidentes PIREPS e MAREPS ao longo de um ano para cada sistema, bem como os valores que estatisticamente deram origem ao IA que está a servir de referência para cada sistema. O IA é calculado usando os dados referentes a um ano de operação, posteriormente esse valor é fixo e serve de referência durante um ano.

Tabela 2: Registo mensal dos incidentes de PIREPS e MAREPS e cálculos associados

Taxas PIREP & MAREP								
	Mês	Total PIREPS	Total MAREPS	H_Voo Mensais	Taxa PIREPS 100 H_Voo	Taxa MAREPS 100 H_Voo	Taxa PIREPS Media Movel 3 meses	Taxa MAREPS Media Movel 3 meses
2011	Outubro	2	0	19:30	10,26	0,00		
	Novembro	2	1	37:20	5,36	2,68		
	Dezembro	1	0	33:10	3,02	0,00	6,21	0,89
2012	Janeiro	2	0	40:20	4,96	0,00	4,44	0,89
	Fevereiro	4	1	44:35	8,97	2,24	5,65	0,75
	Março	1	0	54:50	1,82	0,00	5,25	0,75
	Abril	1	0	72:45	1,37	0,00	4,06	0,75
	Maio	7	0	55:45	12,56	0,00	5,25	0,00
	Junho	1	0	35:55	2,78	0,00	5,57	0,00
	Julho	3	1	61:25	4,88	1,63	6,74	0,54
	Agosto	1	0	26:10	3,82	0,00	3,83	0,54
	Setembro	2	2	40:35	4,93	4,93	4,54	2,19

FROTA		Sistema	
A38		41 - AC / Pressurization / Ice Control	
Estatística			
Média		Desvio Padrão	
PIREPS	MAREPS	PIREPS	MAREPS
5,39	0,96	3,47	1,60
Níveis Alerta			
PIREPS		MAREPS	
12,33		4,16	
Notas			

Com os dados registados e obtidos pela tabela anterior, que deve ser feita para cada sistema, propõe-se a elaboração de um gráfico para cada um dos tipos de incidentes de forma a salientar a dispersão dos dados em relação ao nível de alerta definido.

IRP – Índice de Remoções Prematuras – este indicador refere-se ao número de remoções prematuras de um determinado componente rotável, em relação à quantidade dessas mesmas unidades instaladas referente às horas voadas num determinado período. A fórmula proposta é a que se segue:

$$IRP = \left[\frac{R_P}{Q_{AC} * H_{VOO}} \right] * 100$$

RP – Número de remoções prematuras no período considerado

QAC – Número de unidades por aeronave

HVOO – Total de horas de voo no período em análise

O índice de remoções prematuras, expresso pelo número de unidades de um determinado tipo (mesmo *Part Number* (P/N)), removidas prematuramente durante um dado período de tempo, dá uma primeira medida da fiabilidade da unidade.

Os pressupostos adotados para o cálculo são os que se seguem:

- Apenas são considerados componentes com potencial atribuído, ações de manutenção não programada e que se refiram efetivamente a remoções físicas da aeronave.
- Os componentes com potencial, variam em termos de código de frequência (horas; meses instalação, ciclos de funcionamento etc.), é necessário adaptar a fórmula de acordo com esta informação.
- Caso o componente em estudo tenha funcionamento próprio, salienta-se que não é usado o tempo de operação da aeronave mas sim o contador do próprio componente.

O IPR representa um índice de remoções para componentes com potencial, assim deve ser atribuído um IA específico para cada um destes componentes. É necessário analisar as remoções a que foram sujeitos estes componentes e posteriormente analisar o RH. As H_{VOO} contabilizadas foram as realizadas por todas as aeronaves em que o componente é aplicado, nesse mesmo período. Para este universo obtiveram-se os seguintes valores de IRP.

Indice de Remoções Prematuras

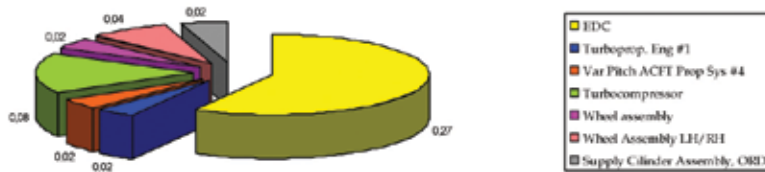



Figura 4: Representação gráfica dos IRP de componentes rotáveis com remoções registadas de 2011 a 2012

Esta abordagem, que utiliza todos os dados disponíveis serve para definir os níveis de alerta iniciais para os componentes em estudo. O IRP deve ser calculado mensalmente, para cada componente/equipamento, utilizando as médias móveis de três meses. Devem ser definidas condições de revisão obrigatória dos níveis de alerta definidos. Numa primeira fase importa definir os componentes mais críticos para cada SA, e fazer a análise e respetiva monitorização apenas a esses componentes. Propõe-se ainda a emissão mensal de um mapa com o registo dos componentes cujo IRP calculado à média móvel a 3 meses, tenha excedido o IA.

MTBUR – Tempo Médio Entre Remoções Não Programadas – obtém-se o intervalo de tempo médio em que são executadas substituições não planeadas de componentes rotáveis. O cálculo para a obtenção do mesmo é feito recorrendo à seguinte expressão:

$$MTBUR = \frac{Q_{AC} * H_{VOO}}{R_P}$$

Rp – Número de remoções não programadas no período considerado

QAC – Número de unidades por aeronave

H_{VOO} – Total de horas de voo no período em análise (por todas as aeronaves em que aeronave é aplicada)

As variáveis que fazem parte do cálculo deste indicador são as mesmas que fazem parte do IRP, pelo que são obtidas da mesma forma. Calculado o IRP para cada P/N identificado, facilmente se calcula o respetivo MTBUR, cujos valores são representados no seguinte gráfico:

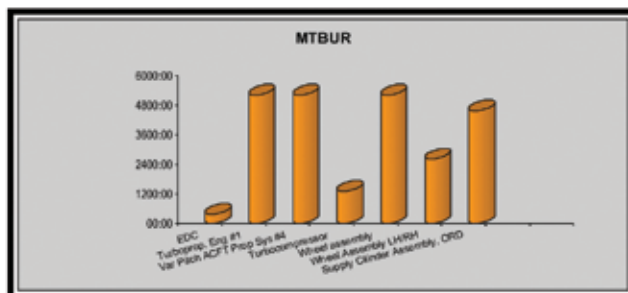



Figura 5: Representação do MTBUR por P/N

MTBF – Tempo Médio Entre Falhas – considerou-se neste estudo estas falhas associadas a componentes reparáveis não rotaveis. O MTBF deve ser utilizado para períodos longos de análise. A expressão proposta para obtenção do MTBF é:

$$MTBF = \frac{Q_{AC} * H_{VOO}}{R_{em}}$$

Rem – Número de remoções de determinado componente por motivo de falha

QAC – Número de unidades por aeronave

H_{VOO} – Total de horas de voo no período em análise (por todas as aeronaves em que aeronave é aplicada)

Segue a descrição do que foi definido como base para o cálculo deste indicador:

- Os P/N a observar e a contabilizar são os que correspondem a componentes reparáveis e sem potencial atribuído.
- As situações de reparações realizadas na aeronave não são consideradas
- Quanto à variável Rem, corresponde a todas as remoções realizadas, considerando o universo de P/N reparáveis e não rotáveis.
- Só interessam as ações de manutenção não programada.

Foram analisados os registos dos componentes que sofreram remoções por avaria. O seu estudo torna-se muito importante, pois a análise do MTBF pode levar mesmo a decisões de atribuição de determinado potencial de acordo com o comportamento do componente ao longo da sua vida. Para cada P/N identificado, fez-se o levantamento dos vários S/N que foram removidos por avaria. Procedeu-se à análise do RH de cada S/N. obtendo-se o tempo que cada um esteve instalado, permitindo, uma monitorização dos tempos de instalação dos diversos S/N de um componente, tal como representado no seguinte figura:

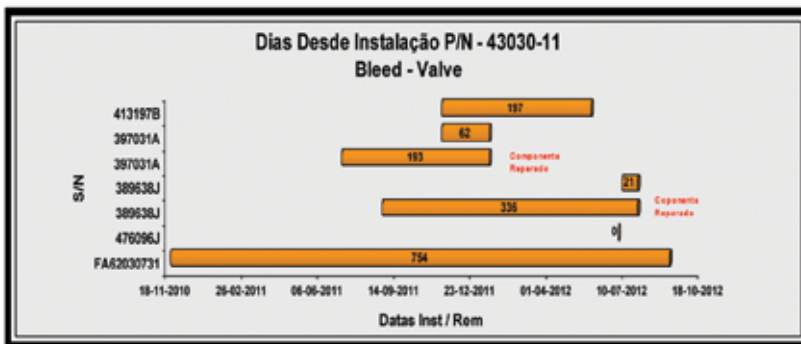



Figura 6: Representação gráfica do tempo de instalação dos diversos S/N correspondentes a um mesmo P/N de um componente sujeito a reparações

Este tipo de monitorização deve ser aplicada a todos os componentes controlados por S/N, identificados com necessidade de monitorização.

No gráfico que se apresenta de seguida, estão registados os valores de MTBF de quatro componentes.

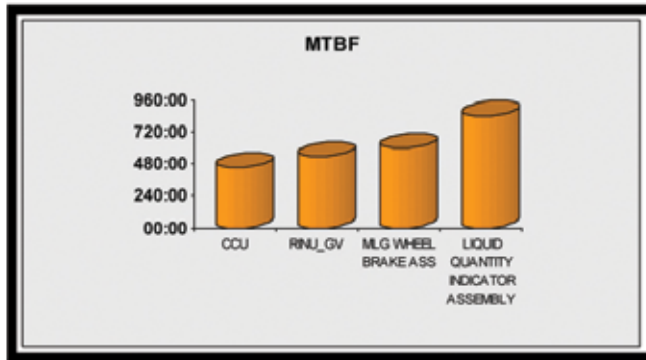



Figura 7: Representação do MTBF

O MTBUR e MTBF, devem ser calculados mensalmente para os respetivos componentes com médias móveis a três e doze meses.

MTTF – Tempo Médio até à Falha – para o caso de sistemas não reparáveis e não rotáveis, representa o tempo até à ocorrência de falha Para o cálculo deste indicador propõe-se a equação:

$$MTTF = \frac{Q_{AC} * H_{VOO}}{F}$$

F – Número de falhas

QAC – Número de unidades por aeronave PC

H_{VOO} – Total de horas de voo no período em análise (por todas as aeronaves em que aeronave é aplicada)

Não foi possível avaliar dados para obter o MTTF, por não existirem registos no SIAGFA-MGM de sistemas não reparáveis e não rotáveis.

4.2 Avaliação dos dados

Os dados foram estudados tendo em vista uma avaliação qualitativa e quantitativa dos mesmos. Na prática a qualidade dos dados foi verificada quanto à forma de registo da informação disponível. No que se refere à avaliação quantitativa com base no histórico de registos foi possível validar a disponibilidade de dados. No entanto existem alguns casos em que foi verificada uma necessidade de validação da amostra em termos estatísticos, nomeadamente no cálculo dos IA, é necessário verificar a normalização da amostra e a respetiva dispersão.

Segue-se um resumo referente a cada indicador relativamente à sua avaliação em termos qualitativos e quantitativos.

Tabela 3: Resumo da análise Quantitativa e Qualitativa dos Indicadores propostos

TCM	Análise Qualitativa - falta uniformização no registo de dados.
	Análise Quantitativa - a quantidade de dados disponíveis para o cálculo das variáveis deste indicador é suficiente para o estudo deste indicador.
DAC	Análise Qualitativa - o registo da informação quanto à situação de aeronaves pode não ocorrer no momento em que a aeronave muda de situação, ou não aparecer no histórico.
	Análise Quantitativa – quantitativamente os dados disponíveis para o cálculo deste indicador são adequados.
IFSD	Análise Qualitativa - a forma de registo dos cortes de motor em voo não é clara, nem são claramente identificadas as situações que o definem.
	Análise Quantitativa – os dados para o calculo deste indicador estão disponíveis na base de dados do GPA.
PIREPS MAREPS	Análise Qualitativa – existem registos em MAREPS e PIREPS que não coincidem com a realidade, pois há códigos que se sobrepõem a ambas as situações. Existem ações de manutenção mal registadas, e no que concerne ao registo de anomalias a Informação é incompleta e ambígua.
	Análise Quantitativa – numa primeira abordagem os registos existem e há possibilidade de cálculo dos mesmos com possibilidade de tirar conclusões. Apesar de existirem dados que foram mal contabilizados por motivo de falta de clareza, este facto não trás um impacto negativo no estudo de incidentes nos sistemas.
IRP MTBUR	Análise Qualitativa – é necessário recorrer aos RH. No caso de componentes rotáveis saliente-se que não há obrigatoriedade de atualizar os RH digitais com a informação antiga dos RH em formato papel. Pelo motivo da transição foram detetados algumas incongruências, que podem afetar a qualidade dos dados.
	Análise Quantitativa – não existe nenhum fator de constrangimento no que se refere à quantidade de dados disponíveis.
MTBF	Análise Qualitativa – todos os pontos referidos na tabela anterior são transversais a este indicador.
	Análise Quantitativa – uma regra de validação quantitativa para o cálculo do MTBF é o facto deste só fazer sentido para equipamentos quando existe um número apreciável de avarias no período em análise. A transição dos RH em formato papel para o RH digital, permitiu a disponibilidade de informação para todos os componentes controlados por S/N. No caso de um componente ser removido e seguir para backshop, ou ser entregue ao abastecimento é perdido o controlo deste componente, no que respeita à contabilização de falhas efetivas.
MTTF	Análise Qualitativa / Análise Quantitativa - o cálculo deste indicador foi proposto no âmbito deste trabalho para ser realizado a componentes/equipamentos não reparáveis e não rotáveis, neste momento, este tipo de componentes não são controlados por S/N pelo que não existem quaisquer registos que permitam a sua análise.

5. CONCLUSÃO

Os processos de decisão que visam, em gestão da manutenção, definir as práticas convenientes no sentido de assegurar a eficácia e o controlo adequado dos ativos físicos, dependem da informação na qual os gestores se baseiam. Muita dessa informação é retirada dos registos históricos de avarias e reparações, a qual depois de transformada eficiente e eficazmente em indicadores de fiabilidade, proporciona um maior conhecimento que, ao ser devidamente utilizado, pode contribuir para um acréscimo do desempenho das tarefas inerentes à manutenção

Face ao desenvolvimento prático apresentado e aos resultados obtidos, considera-se que a análise qualitativa e quantitativa realizadas permitirão avançar no sentido da implementação de um programa de fiabilidade de aeronaves. Os critérios utilizados para a pesquisa de dados, bem como as premissas assumidas poderão servir como requisitos para implementação no sistema de informação e gestão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assis, R. (2010). **Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos**. Lisboa: LIDEL-Edições Técnicas, ISBN 978-972-757-605-0.

Bicho, J.L (2010). **Análise de Fiabilidade de Despacho de uma Frota A330**. Lisboa: UNL – Tese de Mestrado.

Gonçalves, P.V. (2008). **Controlo de Fiabilidade de Componentes de Avião**. Lisboa: ISEL – Tese de Mestrado.

INAC – **Circular Técnica de Informação** C.T.I.10-03 -Edição 1

Informação – 771, (2013). **Monitorização da eficácia dos programas de manutenção de aeronaves da Força Aérea** - NFAC- DEP - DE

Justino, V.F. (2009). **Implementação de um Programa de Fiabilidade na frota de uma Companhia Aérea**. Lisboa: UNL – Tese de Mestrado.

Kinnison, H. A. (2004). **Aviation Maintenance Management**. USA: McGraw-Hill Companies, Inc.

MFA 401-3 (C). AGO1988. **Sistema de Recolha e Processamento de Dados de Manutenção**. DMA.

RFA 401-1 (1981). **Regulamento de Manutenção de Aeronaves da Força Aérea** (REMAFA). Alfragide: Força Aérea Portuguesa.

Caderneta Técnica do Avião

Autor: Dionísio Matias,
Aspirante Aluno da Licenciatura em Manutenção de Material Aéreo
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Gustavo Silva,
Tenente-Coronel Técnico de Manutenção de Material Eletrotécnico
Administrador de Informação da Área Logística, Comando da Logística, Força Aérea Portuguesa

Co-Orientadora: Teresa Cabral, Major Engenheira Aeronáutica
Direção de Engenharia e Programas, Comando da Logística, Força Aérea Portuguesa

Resumo: A operação de aeronaves civis e militares compreende o registo dos consumíveis antes, durante e após o voo na Caderneta Técnica do Avião, também designado como Caderneta da Aeronave (CA). As CA, que constituem o documento mais importante das aeronaves, estão estabelecidas na Força Aérea (FA) pelo Regulamento da Força Aérea (RFA) 401-4, criado na década de oitenta. A adoção de requisitos de aeronavegabilidade a nível militar europeu tende a basear-se nos que estão estipulados para a aviação civil, o que significa, relativamente à CA, que a regulamentação da FA tem de ir ao encontro dos parâmetros seguidos no Velho Continente.

Na atual conjuntura financeira, a gestão dos meios catalisa o recurso a novas tecnologias, que se querem o mais fidedignas possível. Neste contexto, a utilização do *Electronic Flight Bag* (EFB), numa ótica de substituição da CA, é tida como uma opção credível. Este trabalho tem em vista, pois, definir e propor um protótipo de Arquitetura de Sistemas de Informação para a Caderneta da Aeronave para o Sistema de Armas (SA) F-16, integrando-a numa plataforma digital baseada no conceito de EFB.

Para tal, a metodologia seguida passou, numa primeira fase, pelo estudo da documentação, incluindo o do Livro (CA) do F-16, intrínseca ao tema. Depois, desenvolveu-se com o preenchimento dos campos do ficheiro EFB e com a definição dos requisitos e regras de negócio dos menus a criar neste conceito (incluindo os parâmetros de construção com base na regulamentação europeia). No fim, culminou com a definição dos requisitos no Sistema Integrado de Apoio à Gestão da Força Aérea (SIAGFA) para uma área destinada à CA.

As principais conclusões retiradas deste estudo enquadram-se nos requisitos definidos para o EFB, que têm o intuito de garantir que este, apesar de ser criado para a aeronave, tem em vista o utilizador e ser o mais *user friendly* possível.

A possível implementação do EFB permitirá à FA uma otimização do tratamento de dados da CA, potenciando aos seus militares um aumento de produtividade.

Palavras-chave: Caderneta da Aeronave, Livro F-16, *Electronic Flight Bag*, Requisitos

1. INTRODUÇÃO

A operação de aeronaves civis e militares envolve o controlo e registo de dados operacionais, como por exemplo, horas voadas, rota e nº de aterragens, e a dados de manutenção, como por exemplo, inspeções, abastecimentos, avarias e deficiências. Os atos de manutenção são registados na CA que tem como principal objetivo evidenciar o estado da aeronave antes e após cada voo (Machado, 2012).

Os registos efetuados na CA originam duplicação de tarefas e concorrem para um subaproveitamento dos recursos humanos disponíveis porque a mesma informação é registada em mais do que um documento e, posteriormente é transcrita para plataformas informáticas.

Na ótica da otimização dos recursos envolvidos nos processos associados aos registos dos dados da CA pretende-se recorrer às tecnologias de informação e ao conceito de EFB.

Os EFB estão a ser o principal investimento das grandes companhias aéreas para substituir os pesados sacos de voo da tripulação. Traduzindo à letra, estes “sacos de voo eletrónicos” contêm todos os mapas necessários para a missão, manuais e também o livro de *check list* completo da aeronave, permitindo eliminar assim o clássico aglomerado de mapas e de livros de *check list*.

Os EFB aplicadas à manutenção, sob o conceito de *Electronic Maintenance LogBook*, permitem não só uma redução das Homem-hora (HH) gastas no tratamento dos dados da CA, como igualmente uma otimização na preparação da aeronave para voo.

As vantagens que um EFB acarreta têm levado a um incontestável investimento na aviação civil. São várias as companhias da aviação que não têm olhado a custos para apostar nos EFB. Algumas Forças Armadas também têm realizado investimentos neste sentido. Em Portugal, existe o exemplo da companhia aérea *Euroatlantic Airways*, que escolheu os serviços da empresa *Fokker Services* (empresa europeia certificada pela *European Aviation Safety Agency* (EASA)) para a certificação e instalação do *hardware* e a empresa *NavTech* para o fornecimento de *software* dos EFB. Os EFB instalados têm uma autonomia superior a 8 horas. Este processo teve início em maio de 2011 e o primeiro EFB a ser instalado foi em outubro de 2012. janeiro de 2013 foi o mês apontado para que toda a sua frota de *Boeing* tenha o EFB instalado (Arvanas, 2012).

O objetivo deste trabalho passa, pois, por investigar, definir e propor um protótipo de Arquitetura de Sistemas de Informação para a CA para o SA F-16, com vista a integrar numa plataforma digital recorrendo ao conceito de EFB.

2. CONCEITOS

2.1 Caderneta da Aeronave

A CA, constituída pelos modelos 2M (Registo de Manutenção de Aviões) e 3M (Lista de deficiências a corrigir), para aviões ou helicópteros, é uma plataforma física de protocolo de dados, entre o mecânico e o piloto, que acompanha sempre a aeronave. É um documento que apresenta as avarias existentes na aeronave.

É neste documento que se efetuam o registo dos consumos, inspeções, abastecimentos, anomalias e os dados da missão para que o piloto e o mecânico tenham sempre presente o estado atual da aeronave.

Encontra-se em utilização na FA desde os primórdios da década de 80 e é regulado pelo RFA 401-4 - “Sistema de Registo de Dados de Manutenção de Aeronaves”. Este documento visa que a CA seja uniforme e coerente em todos os SA, tornando percetível a leitura e preenchimento do mesmo para todos os utilizadores.

2.2 Livro F-16

Ao longo dos anos tem-se verificado que a CA não servia da melhor forma o Sistema de Armas F-16. Esta não abrangia todos os consumos a registar e não tendo um caráter internacional tornou-se um obstáculo para os exercícios militares em conjunto com outras Forças Aéreas, tendo em conta que, nestes eventos, qualquer militar poderia pilotar o avião de uma Força Aérea de outro país. Foi então necessário elaborar uma CA para o F-16 para dar resposta a estas necessidades.

Em 2005 foi elaborada uma versão da CA específica para o SA F16, batizado como “Livro do F-16”, estando em utilização em regime experimental desde então. Esta versão é composta por

onze formulários, que contêm a informação intrínseca à aeronave, ao armamento e à missão, em que cada formulário se destina a uma área específica.

Como o RFA 401-4 não abrange o Livro do F-16 foi elaborado um Procedimento Interno de Qualidade na Manutenção (PIQM) para este fim, o PIQM – GO51 – 401 – "Gestão e Controlo do Livro da Aeronave F-16". As diretivas estabelecidas neste PIQM têm permitido, desde 2009, uma utilização mais eficiente e eficaz do Livro do F-16 porque, independentemente do estado da aeronave, sabe-se sempre onde é que o Livro se encontra e quem é o responsável por ele.

2.3 *Electronic Flight Bag*

O conceito EFB nasce das dificuldades da atual conjuntura financeira que tem vindo a afetar todas as indústrias. A necessidade de as companhias aéreas da aviação civil reduzirem drasticamente os custos de operação leva a uma procura incansável pelos setores onde os custos podem ser reduzidos, sem penalizarem os consumidores com o aumento do preço dos bilhetes.

O EFB é um aparelho eletrónico desenhado para permitir ao utilizador a visualização de documentos em formato digital, a realização de cálculos intrínsecos à missão e o registo de informação. É vasta a panóplia de aplicações de um EFB sendo de realçar a capacidade do registo de consumos, abastecimentos, de anomalias e da transferência de dados para um computador.

O EFB para ser utilizado nos *cokpits* das aeronaves por uma tripulação tem de preencher os requisitos estipulados pelas entidades certificadoras. No Continente Europeu a entidade reguladora para a aviação é a EASA.

A EASA, criada no seio da União Europeia, tem como objetivo normalizar requisitos de segurança e proteção ambiental na indústria aeronáutica para todos os países da Europa. Assim a regulamentação já elaborada contempla, na área da "Gestão de Aeronavegabilidade Permanente" (Regulamento designado como Parte M), a CA (EASA, 2003-2012).

Para o EFB a EASA adotou o guia temporário elaborado pela *Joint Aviation Authorities* (JAA), o *Temporary Guidance Leaflets (TGL) 36 – Approval of Electronic Flight Bags*.

No Continente Americano a entidade reguladora desta temática, a *Federal Aviation Administration* (FAA), elaborou a *Advisory Circular* (AC) 120-76 – *Guidelines for the Certification, Airworthiness, and Operational Use of Electronic Flight Bags*.

Ambos os documentos são semelhantes e contêm a definição e constituição dos Tipos de *Software* e Classes de *Hardware* que compõem um EFB, assim como definem os requisitos necessários para a construção do EFB tendo em consideração os fatores humanos.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu em seis fases.

A primeira fase passou pela análise minuciosa dos documentos que atualmente regulamentam a CA, de trabalhos anteriores sob a mesma temática e da documentação de referência do EFB (AC 120 76, TGL 36 e Parte M da EASA). O recurso a entrevistas acontece na fase seguinte para estudar o registo e tratamento dos dados de manutenção e pós-processamento da CA do SA F-16, esta fase permitiu a conclusão de um ficheiro que suporta os campos que o EFB deve ter e também caracteriza cada campo.

Com as três primeiras fases concluídas deu-se o passo em direção ao objetivo final, o protótipo, que foi dividido em três fases. A primeira fase cingiu-se na elaboração dos menus e respetivos campos a criar no EFB e definiu-se as respetivas regras de negócio. Seguidamente efetuou-se um ficheiro similar mas para o Módulo de Gestão da Manutenção (MGM) com vista a criar uma área destinada à CA.

Por fim definiu-se os requisitos de *design* que devem compor o EFB com base no estudo dos documentos elaborados pela FAA e EASA.

4. RESULTADOS

4.1 AS IS

Na elaboração de um protótipo com o objetivo de melhorar um processo existente, é necessário compreender e estudar o processo atual. Neste trabalho, que tem como objeto de estudo a transposição do Livro do F-16 para uma plataforma digital, é crucial compreender o processo de utilização do Livro em todas as situações possíveis da aeronave assim como o estudo de todos os campos que constituem o Livro do F-16.

O F-16 pode encontrar-se em 3 locais e em 4 situações, sendo estas últimas a linha da frente (quando está pronta para voar), o hangar com duas situações distintas (quando está em inspeção de fase ou em manutenção mais profunda) e na Doca 4 (no processo de modificação para MLU). Além destas quatro condições, também existem dois processos independentes do estado da aeronave mas que são intrínsecos no uso do Livro do F-16: a atualização dos formulários e de chaves.

Quando a aeronave está pronta para voar é um processo que envolve várias ações e registos no Livro do F-16, com o intuito de refletir no papel a missão efetuada, a logística envolvente e os intervenientes. Depois do voo, a aeronave pode continuar pronta para voar ou aterrar com anomalias, mas, independentemente destas condições, o formulário 02 do Livro (é o formulário destinado ao registo dos consumos), após o último voo do dia, é sempre entregue ao Centro de Gestão da Manutenção para arquivo e atualização de potenciais no SIAGFA.

Quando a aeronave se encontra em manutenção ou em inspeção de fase, o Livro do F-16 é utilizado para a consulta e respetiva atualização das anomalias referidas no Livro e também para o registo de consumos referentes ao voo de ensaio.

A atualização do Livro é efetuada pelas áreas que têm responsabilidades para com o Livro do F-16 e pode ser feita na base de dados do Livro, o *Aircraft Structural Integrity Program* (ASIP), criado em Access, ou no próprio Livro, dependendo da área. Os valores do *Boresight*, o número de série do motor, a versão da aeronave e do vídeo são atualizados no ASIP e os respetivos formulários são, posteriormente, impressos. As atualizações do hardware e software instalado são efetuados no livro.

Sempre que se efetua uma atualização no Livro do F-16 é necessário proceder-se à troca do respetivo formulário arquivando-se o antigo.

Após a análise do processo de gestão do Livro do F-16 procedeu-se à identificação de todos os campos necessários para o EFB e caracterizou-se, em função da finalidade, cada campo identificado.

Tal procedimento foi feito anteriormente a este trabalho para todos os SA, exceto o do F-16. Nesta fase, foi concluído o ficheiro existente com os dados em falta para o F-16 e dos requisitos da EASA. Este ficheiro é composto por 547 campos que integram a plataforma digital (incluindo a caderneta de voo, que não foi objeto de estudo neste trabalho) dos quais 433 preenchem as necessidades do F-16 e 154 são comuns a todos os SA. Todos os campos estão identificados e caraterizados segundo os parâmetros indicados na tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros a definir por cada campo do EFB

Parâmetro	Descrição
Campo	Número do campo em função da árvore definida.
Título do Campo PT	Título do Campo em português.
Título do campo EN	Título do campo em inglês.
Comentários	Comentários adicionais e relevantes sobre o campo para uma melhor explicação da funcionalidade do campo para o programador informático
Valores pré-definidos	Campos com valores pré-definidos devem ter esses valores inscritos nesta célula. (Exemplo: Unidades de Combustível)
Tipo	Tipo de preenchimento do campo. Tipos possíveis: ➢ *Boolean* – assume dois valores (verdadeiro ou falso) ➢ Etiqueta – título da área dos campos (Exemplo: *Fuel*) ➢ *Number* – preenchimento com números ➢ *String* – preenchimento com letras e/ou números ➢ *Date* – preenchimento com data
Read Only	Se o campo for apenas de leitura deve estar escrito "Yes" nesta célula. O "Yes" significa que este campo será um campo informativo para o utilizador, não podendo efetuar alterações.
Required	Se o campo for de preenchimento obrigatório deve estar escrito "Yes" nesta célula.
SIAGFA -> EFB	Se os dados deste campo forem para serem transferidos do SIAGFA para o EFB então deve estar escrito "Yes" nesta célula.
EFB -> SIAGFA	Se os dados deste campo forem para serem transferidos do EFB para o SIAGFA então deve estar escrito "Yes" nesta célula.

4.2 TO BE – EFB

Dos processos estudados no capítulo anterior, conclui-se que, na realidade do capítulo atual, apenas a situação de "Aeronave Pronta" é que abrange o uso do EFB. Os restantes processos resumem-se ao uso do computador, porque a necessidade de imprimir, substituir e arquivar os formulários do Livro é suprimida pela transferência de dados entre o EFB e o computador. Neste capítulo apresentam-se os menus a criar no EFB para o SA F-16.

A identificação do processo da gestão do Livro do F-16 é o alicerce para a criação do novo processo (situação futura), considerando que já existe o EFB implementado.

A criação dos menus com os respetivos campos no EFB é feita com base no regulamento da EASA Parte M – AMC M.A.306, na tese de mestrado realizada em 2012 sobre a mesma temática e realizando uma projeção da atividade para a realidade futura, na qual o uso do EFB será para o registo de consumos, abastecimentos, anomalias, consulta de informação pertinente para o piloto e transferência dos dados.

A figura 1 ilustra como poderá ser o menu principal e apresenta os menus que devem compor o EFB.

Figura 1: Menu Principal EFB

Este menu deve ser apresentado após a introdução do *user name* e da *password* do utilizador, para que, a informação registada fique agregada ao utilizador que a inseriu.

O "*Main Menu*" (menu principal) deve ser intuitivo e, como tal, deve apresentar os dez submenus de forma organizada e simétrica. Assim, o utilizador facilmente escolhe o menu desejado com um simples toque no ícone correspondente.

O primeiro menu, intitulado como "*Mission*", apresenta os dados que caracterizam a missão e onde se registam os tempos da tripulação e a rota a seguir.

O menu "*Crew*" é destinado única e exclusivamente aos dados dos tripulantes. Este apresenta os dados primordiais de cada tripulante e possibilita a atualização das qualificações de cada elemento.

As informações da aeronave e os respetivos consumos localizam-se no menu "*Aircraft*", onde está incluído o registo dos abastecimentos de combustível, óleo e oxigénio.

Como se pode verificar na figura 2 existe uma área destinada aos consumos do motor, selecionando-se, para tal, o botão "*Engine*", que abre a janela para os registos do motor, e existe também uma área destinada ao combustível (selecionando o botão "*Fuel*", que abre uma janela para este efeito).

Figura 2: Menu *Aircraft*

A regra de ouro deste menu está associada ao campo "*Current Status*". Se este campo tiver um estado que indique uma anomalia com um símbolo que careça de autorização excecional para a aeronave voar, então o EFB não deve permitir o registo em nenhum menu sem que, o militar, com a autorização devida, preencha o campo "*Excecional Release*". O preenchimento deste campo é a aceitação da aeronave em condições mecânicas adversas, pelo que o militar assume a responsabilidade de qualquer situação anómala ao voo.

Outra regra associada a este menu é o cálculo do valor acumulado (VAC). Os campos intitulados como "VAC" e "Total" são de leitura e atualizados sempre que o campo "*consumption*", associado ao respetivo campo "VAC" e "Total", for preenchido. Esta atualização é o cálculo do somatório do valor do "VAC" anterior com o valor do "*consumption*".

A consulta e registo de anomalias são feitos no menu "*Anomalies*", que apresenta uma tabela com a lista das anomalias em aberto nos modelos 2M e 3M e respetiva informação.

A importância deste menu deve-se à informação a transmitir ao utilizador. Por isso é que deve apresentar a lista das anomalias e as informações mais importantes, que são o símbolo, a descriminação da anomalia, o estado em que se encontra e se esta se encontra em modelo 3M. Este menu também permite o registo de novas anomalias.

A regra principal deste menu é a atualização do campo "*current status*". Sempre que o símbolo da anomalia adicionada ou editada for superior ao símbolo do "*current status*", o sistema atualiza este campo com o novo símbolo. Esta condição permite que o EFB informe o utilizador, através do "*current status*", o estado atual da aeronave.

O menu "*Specific Information*" é um menu único do F-16. Aqui registam-se os dados do *Inertial Navigation Unit* (INU), do *Secure Voice* e do Link 16. Este menu também apresenta a informação dos coeficientes de transparência da canópia, do *aircraft boresight* e dos *avionics boresight*.

O armamento tem um menu peculiar, intitulado "*Weapons Configuration*". A característica base deste menu é a necessidade de apresentar uma imagem do F-16 com a localização das estações de armamento, à qual se associam os registos devidos. Nele também se incluem os dados referentes ao canhão.

O mapa de inspeções está apresentado no menu "*Inspection Schedule*", que contém as datas das próximas inspeções por calendário, ciclos e horas. A importância da informação dos componentes não instalados leva à criação do menu "*Non Installed Components*", que lista estes componentes. Estes dois menus são de caráter informativo para o utilizador.

A transferência de dados com o SIAGFA é realizada nos menus que se seguem

O menu "*Download To System*" está arquitetado para o EFB descarregar a informação inserida pelos utilizadores no SIAGFA. Neste menu, o botão "*Clear EFB*" tem de estar sempre bloqueado para o utilizador, exceto quando o *download* dos dados para o sistema é efetuado. Após o *download*, o botão fica disponível para o utilizador selecionar e apagar os dados do EFB.

O menu "*Upload From System*" está desenhado para a realização da transferência dos dados provenientes do SIAGFA para a EFB e respetiva atualização.

A particularidade destes menus é a apresentação da lista dos componentes a transferir para e do SIAGFA.

4.3 TO BE – SIAGFA

A necessidade de consultar o Livro do F-16 pelas diversas áreas leva à criação de uma área destinada para o efeito (intitulado *LogBook*) em SIAGFA.

O primeiro menu, intitulado "visualizar *LogBook*", é composto por oito submenus. Estes são idênticos aos do EFB, para que haja conformidade entre o SIAGFA e o EFB para o utilizador. Não incluem, contudo, as opções "*Download To System*" e "*Download From System*" do EFB.

Os submenus são criados para que o utilizador tenha a possibilidade de consultar registos anteriores e efetuar registos na eventualidade de o EFB estar inoperativo. O que têm de diferente em relação ao EFB é a necessidade de o utilizador, em primeiro lugar, ter de definir o tipo de aeronave a consultar e o número de cauda da aeronave. Com estes dados, o sistema carrega a informação da respetiva aeronave e, posteriormente, o utilizador terá de definir o registo a consultar.

Os segundo e terceiro menus destinam-se à transferência de dados entre o SIAGFA e o EFB. O segundo, sob o nome de "*Download From EFB*", destina-se à receção dos dados provenientes do EFB e respetiva atualização no SIAGFA. O terceiro, sob o nome de "*Upload To EFB*", destina-se à transferência de dados do SIAGFA para o EFB.

A regra de ouro no "*Upload To EFB*" é o bloqueio dos dados no MGM após a transferência de dados para o EFB, esta condição perdura até se efetuar o *download* do EFB para o sistema. Desta forma garante-se a sequência de inserção de dados.

O "*Backup*" localiza-se no quarto menu e está arquitetado para se realizar a recuperação de dados. Este menu é a garantia de arquivo dos dados de cada missão, preenchendo assim o requisito, referente ao arquivo, definido para as CA digitais, pela EASA. E também se garante a possibilidade de recuperar informação. O backup também é garantido pelo MGM.

A necessidade de imprimir o livro com o registo de determinada missão é satisfeita no menu "*Imprimir LogBook*". Neste menu é possível selecionar um registo e imprimi-lo ou imprimir o livro com os campos de preenchimento vazios para se efetuarem registos (opção que deve ser levada em conta como solução de substituição do EFB em caso de avaria).

4.4 TO BE – REQUESITOS PARA O EFB

Neste capítulo definem-se os requisitos mais importantes a ter em conta na criação do dispositivo portátil, de forma a alcançar os objetivos pretendidos e a criar um EFB *user friendly*, que terá como base de apoio a perna do piloto (desde que não interferindo com o uso dos comandos de voo) devido ao confinado espaço do cokcpit e o campo de movimentação do piloto no interior do mesmo.

Para definir os requisitos recorreu-se ao documento de referência para esta temática, criado pelo *Volpe Center*, em 2000, intitulado como *Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Electronic Flight Bags* (EFBs), elaborado por Divya C. Chandra e Susan J. Mangold. Este documento define as considerações a ter para a criação do EFB, tendo como principal atenção os fatores humanos e foi o suporte para, definir, neste trabalho, os requisitos a ter em conta na criação do dispositivo portátil.

• Luminosidade

As condições de luminosidade variam em função do local e da hora do dia, devendo o EFB providenciar um ajuste de modo a que o utilizador não tenha dificuldade em ver os menus, independentemente do ambiente onde se encontre.

Existem condicionantes no uso do EFB que não devem levar a um ajuste da luminosidade pelo próprio utilizador: quando o piloto está sentado no *cockpit* com o EFB a uma distância aproximada de meio metro, tendo um ângulo de visão sobre o *display* que não é o mais favorável, ou quando o mecânico, no exterior, tem o EFB na mão a uma distância também de meio metro.

A luminosidade do EFB deve abranger as condicionantes de ambos os utilizadores; se tal não for possível, deve ser providenciado ao utilizador um ajuste fácil de luminosidade.

O EFB deve ter um sistema de *night vision* em que, à noite, o ecrã tem fundo preto e, de dia, apresenta fundo branco. Elimina-se assim o problema das luzes demasiado brilhantes e vivas durante a operação noturna, que pode ofuscar o piloto, e a questão de refletir o brilho nos utilizadores durante o dia.

• Legibilidade do texto

O texto deve estar visível e ser percetível ao próprio utilizador, independentemente da distância do campo de visão e da incidência da luz no monitor. Além disso, deve estar devidamente iluminado para o uso noturno, devendo ser possível ao utilizador ajustar o brilho.

A escolha do tipo de texto deve ser cuidadosa para garantir que não há interpretações erradas por parte do utilizador nem introdução de informação incorreta. Por exemplo, o “G” pode ser confundido com o “O” ou o “C”, o “E” com o “F” e o “I” com o “1”; para evitar esta questão, há que ter em conta o espaço entre carateres, o tipo de letra e o tamanho. O tamanho de cada caracter deve ter uma razão de altura e largura entre 1:07 e 1:09.

• Mensagens de alerta e de erro

A utilização da cor vermelha para uma mensagem de alerta deve ser apenas nos casos de nível de alerta elevado (exemplo: “*Current Status* preenchido com um nível que impossibilita a aeronave de voar”). A cor âmbar deve ser usada nas mensagens com um nível de alerta intermédio. Nas restantes mensagens de erro ou de alerta deve-se de usar cores que não provoquem confusão com a cor vermelha e âmbar para evitar más interpretações da mensagem por parte do utilizador.

Para uma mensagem de erro deve ser usada uma mensagem informativa do erro mas com caráter positivo.

As mensagens de alerta sobrepõem-se a todas as outras operações e também podem ser de aviso sempre que o utilizador se esquecer de efetuar um passo. Neste caso, a mensagem deve ser informativa e apresentar a cor âmbar.

• Gestão de menus

O utilizador pode sair de um menu e ir para outro, mantendo o menu que está em background com os dados inseridos pelo utilizador.

Os menus não devem ser complexos nem ter muitas ligações para outros menus e destes menus para outros menus para evitar demoras na navegação do utilizador.

Todos os menus devem ter um botão que leva o utilizador de volta ao menu principal.

• **Documentos**

O EFB deve estar preparado para suportar documentos com os diversos formatos e deve abrir documentos em poucos segundos.

O *layout* dos documentos tem de respeitar as condições referidas na legibilidade do texto.

• **Erro Humano**

O sistema deve ser desenhado de forma a minimizar o erro humano e maximizar a identificação e resolução dos erros. Para isso, podem harmonizar-se a forma de registo de dados, a filosofia de cores e os ícones a usar de forma sólida.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A transposição do Livro F-16 para uma plataforma digital, o EFB, vem incrementar a diminuição do uso de papel nesta área onde diariamente se imprimem os formulários em falta para o Livro.

O EFB, assim como algumas soluções digitais, permite uma diminuição do erro humano pelo facto de ser intuitivo e não dar origem a más interpretações da informação retirada pelo utilizador.

Efetuando uma análise sensorial à transferência de dados, facilmente se afirma que o EFB otimiza o processo de transferência de dados. Combate de forma exemplar a transcrição da informação por meios humanos para as plataformas informáticas.

Existindo uma plataforma digital que descarrega a informação do EFB para o computador, incluindo a transferência de um registo para vários programas, consegue-se assim eliminar a redundância e proliferação de tarefas.

6. CONCLUSÃO

A operação de aeronaves passa pelo controlo e registo de dados (operacionais, de manutenção e de abastecimentos) antes, durante e após o voo num documento de elevada importância para a aeronave: a Caderneta da Aeronave. A informação que a CA encerra é crucial para o piloto e para a manutenção, uma vez que identifica o estado da aeronave, a sua próxima inspeção, as anomalias pendentes e os seus consumíveis e componentes.

A gestão dos meios obriga a um maior recurso à tecnologia disponível de forma a maximizar custos e reduzir os períodos de imobilização. Paralelamente, a qualidade da informação do estado das aeronaves para os seus sistemas de gestão impõe que eles sejam o mais fidedigno e com o menor número de erros possível.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar, definir e propor um protótipo de Arquitetura de Sistemas de Informação para a CA para o SA F-16, com vista à integração numa plataforma digital recorrendo ao conceito de EFB.

A adoção do EFB como um *Electronic Maintenance Logbook* vai ao encontro dos requisitos exigidos pelas autoridades civis porque, de acordo com a AC 120 76B da FAA e o TGL nº36 da

JAA, está previsto o *software* para os modelos 1M, 2M e 3M que compõem a CA, e o *hardware* que garante a portabilidade requerida.

O protótipo definido finaliza os campos em falta para o EFB para que este preencha os requisitos de todos os SA e vai ao encontro dos requisitos da documentação de referência nesta matéria.

As vantagens decorrentes inserem-se na otimização do tratamento de dados, na diminuição do erro humano, visto que a proliferação de tarefas atribuídas, no que se refere ao registo e tratamento de dados da CA, torna-se mais agilizada, elimina a redundância de registos e providencia a redução na utilização de papel para a CA.

Este protótipo não só se destina aos consumos e abastecimentos, como também possibilita a abertura e fecho de anomalias e o registo de inspeções diárias e entre voos, garantindo a proficiência da manutenção na linha da frente do SA F-16. O *software* em questão deve ir ao encontro dos requisitos estipulados pela EASA, sendo o mais *user friendly* possível.

As regras de negócio determinadas garantem que o estado da aeronave está em função da severidade da anomalia e que não se efetuam, paralelamente, registos no EFB e no SIAGFA-MGM.

A integração deste protótipo em SIAGFA proporcionará à manutenção uma otimização do uso do EFB, garantindo a proficiência das esquadras. A este nível, por exemplo, a transcrição de anomalias do modelo 2M para 3M (e vice-versa) torna-se mais eficiente e eficaz pelo simples facto de não ter de ser efetuada manualmente.

Os requisitos para o *design* do EFB estão de acordo com o estipulado na documentação de referência nesta temática. Assim, assegura-se a operacionalidade do EFB em todos os ambientes de operação a que poderá estar destinado, a legibilidade textual de forma a evitar más interpretações de leitura, o uso do código de cores estipulado para as mensagens de alerta, as mensagens de erro com caráter positivo e que todos os menus tenham a opção de voltar ao menu principal.

O EFB constitui, sem dúvida, uma ferramenta que otimiza de forma extraordinária a monitorização e transferência de dados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARVANAS, Ana – Euroatlantic aposta na vanguarda da tecnologia. Revista **Take Off**. Potugal. nº162 (2012). P.10-11

EASA – Agência Europeia para a Segurança, 2003-2012. Consultado em dezembro de 2012. Disponível em: http://easa.europa.eu/language/pt/more-about-EASA.php

MACHADO, Luís Filipe da Silva - **Information System Architecture for the Portuguese Air Force Aircraft Technical Log**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2012. Dissertação de Mestrado

Estudo Técnico-Económico de Implementação de Sistemas de Micro e Minigeração

Autor: André Silva,
Alferes Aluno do Mestrado Integrado na Especialidade de Engenharia Eletrotécnica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Professor Doutor Rui Castro
Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,
Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

Resumo: Neste artigo propõe-se um estudo técnico-económico relativo à implementação de sistemas de microgeração e minigeração em três estações radar e três estações de micro-ondas da Força Aérea (FA). Para tal, abordou-se a legislação em vigor, bem como diversos conceitos teóricos sobre algumas energias renováveis, especificamente, energia eólica e fotovoltaica. Os dados técnicos foram obtidos através de um programa de simulação, um Atlas do Potencial Eólico de Portugal (Costa, 2004) e de contatos com diversas empresas.
Utilizando os dados obtidos e ficheiros em Excel, desenvolvidos especificamente para este trabalho, foi possível chegar a resultados bastante satisfatórios em alguns dos locais selecionados.

Palavras-chave: energias renováveis, estações radar, estações de micro-ondas, microgeração e minigeração.

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento de consumo de energia, a grande inflação no preço de venda e uma maior consciencialização da sociedade em relação ao planeta, levaram à necessidade de uma procura de novas fontes energéticas. Parte dessa procura passa pelas energias renováveis.

Estas são assim definidas, porque não é possível estabelecer um fim temporal para a sua utilização. Sendo consideradas praticamente inesgotáveis, as grandes fraquezas deste tipo de energia prendem-se com a limitação energética que se pode extrair em cada instante e a forte dependência das condições ambientais.

Excluindo a biomassa, as fontes de energia renováveis não são consideradas poluentes e apresentam ainda como vantagem, o facto de poderem ser exploradas localmente. Esta vantagem leva a uma menor dependência da importação energética contribuindo, assim, para a evolução da economia local.

Tendo Portugal assumido responsabilidades quanto à diminuição de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) e de, paralelamente, pretender assegurar uma posição entre os cinco líderes europeus no que concerne às energias renováveis, foi desenvolvida uma Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020 (ENE 2020), subordinada ao tema "Energias renováveis são fundamentais nos dias de hoje".

Neste estudo limitou-se a exploração de energias renováveis à produção de energia elétrica para venda posterior. Nesse sentido, consultou-se a legislação relativa à microgeração e minigeração. Optou-se pelas fontes de energia solar e eólica, visto serem fontes energéticas com resultados positivos em Portugal e já existir um mercado fortemente estabelecido. Teve-se também em consideração a localização geográfica das Unidades da FA e as condições climatéricas aí existentes.

Tanto na microgeração, como na minigeração, estudou-se a produção de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos baseada em energia solar e a produção de energia elétrica dos aerogeradores baseada em energia eólica. Os sistemas fotovoltaicos estudados contemplaram a utilização de um sistema fixo e a de um sistema com seguidor solar.

Devido às suas características geográficas, o espaço envolvente e algumas características próprias das instalações, as Unidades selecionadas para este trabalho foram as três estações radar existentes em Portugal Continental (Foia, Montejunto e Pilar) e três estações de micro-ondas (Chorafome, Arrábida e Ponta da Alheta).

Para se realizar a análise técnica-económica, contactaram-se diversas empresas relacionadas com sistemas eólicos e solares. Adicionalmente, recolheram-se as características climatéricas dos locais através do Solterm e do Atlas de Potencial Eólico. Utilizando os dados obtidos, efetuaram-se cálculos energéticos e económicos, que foram posteriormente analisados e comparados, de forma a verificar a viabilidade deste tipo de projetos.

Neste artigo será feito um enquadramento geral da legislação em vigor, mencionados os principais aspetos teóricos, explicitada a análise económica, seguida da análise técnica e, por fim, será apresentada a respetiva conclusão do estudo.

2. ENQUADRAMENTO LEGAL DAS ATIVIDADES DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO

De forma a regulamentar este tipo de produção, microgeração e minigeração, foram publicados em Portugal diversos Decretos-Lei e regulamentos. Estes dois sistemas são definidos como “atividades de pequena escala de produção descentralizada de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência” (Renováveis na Hora, 2012).

O principal decreto que rege a **Microgeração** é o Decreto-Lei n.º 118-A/2010 de 25 de Outubro. Este veio simplificar o regime de licenciamento previamente existente, publicado no Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro, passando a existir uma plataforma eletrónica para o registo do sistema de produção, o Sistema de Registo de Microprodução (SRM), bem como a simplificação da faturação.

A microgeração está acessível a todos aqueles que disponham de um contrato de Baixa Tensão (BT) com um comercializador do mercado, sendo que a unidade de geração deve ser instalada no mesmo local de utilização da energia elétrica contratada e a potência de ligação do sistema não pode exceder os 50% da potência contratada (DL n.º 118-A/2010, art.4º). Existem dois regimes remuneratórios: o regime geral, que se aplica àqueles que não preenchem os requisitos para integrar o regime bonificado; e o regime bonificado, onde a potência de ligação da unidade de produção não pode exceder os 3,68kW, a energia terá de ser produzida através de uma única fonte de energia, solar ou eólica (entre outras), e o local terá de dispor de coletores solares térmicos com um mínimo de 2 m² de área útil.

No regime geral existe um único período e a tarifa de venda da eletricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador de último recurso.

Quanto ao regime bonificado, este está dividido em três períodos: dois períodos com tarifa bonificada e um terceiro que se enquadra no regime geral. No período inicial, correspondente aos primeiros 8 anos, a remuneração equivale a uma percentagem da tarifa de referência igual a 326€/MWh. No período seguinte, de 7 anos, a tarifa de referência é igual a 185€/MWh (valores válidos para 2012, (Portaria Nº 284, 2011). No fim destes 15 anos, a instalação irá passar para o terceiro período, o regime geral. Durante o período bonificado, nas instalações de geração

por energia fotovoltaica recebe-se 100% da tarifa bonificada e nas de energia eólica 80%. No caso de a produção ser baseada em energia solar, existe um limite de venda de eletricidade de 2,4MWh/ano por cada quilowatt instalado. No caso de ser eólica, esse limite é de 4MWh/ano.

A **Minigeração** é regida essencialmente pelo Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de Março e, ao contrário da microprodução, permite ao produtor consumir a eletricidade produzida pela sua instalação, bem como a venda da sua totalidade à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), beneficiando de um regime bonificado. Porém, é necessário que a instalação que pretenda beneficiar deste regime detenha um contrato com um comercializador. É estabelecido como limite de potência de ligação, 50% da potência contratada e a energia consumida na instalação de utilização tem de ser igual ou superior a 50% da energia produzida pela unidade de miniprodução. A inscrição neste regime faz-se no Sistema de Registo de Miniprodução. Quem beneficiar do regime bonificado, terá por base a tarifa de referência, 215€/MWh (valor em vigor em 2012), para um período de 15 anos, e os restantes anos serão enquadrados no regime geral. Sempre que a potência a instalar seja superior a 20kW, o método de seleção será concorrencial, sendo selecionado quem oferecer melhores descontos à tarifa de referência. Nos casos de a potência ser inferior a 20kW, a ordenação é feita por ordem de chegada. Para beneficiar do regime bonificado será ainda necessário a realização de uma auditoria energética e satisfazer outros critérios pré-definidos, tais como implementar medidas de eficiência energética.

Visto a microgeração abranger um maior nível de potência, definiram-se três escalões de potência de ligação (escalão I, II e III). À semelhança da microgeração, durante o regime bonificado, caso a instalação seja de energia solar recebe 100% e se eólico, recebe 80% da tarifa de referência em vigor.

A síntese dos dados acima referido encontra-se a tabela 1.

Tabela 1: Microprodução e Miniprodução

	Microprodução	**Miniprodução**
Potência Máxima de Ligação (PL)	3,68kW Particulares; 11,04kW Condomínios.	Escalão I: PL ≤ 20kW; Escalão II: 20kW < PL ≤ 100kW; Escalão III: 100kW < PL ≤ 250kW.
Produção para aceder à atividade	Potência de ligação inferior ou igual a 50% da potência contratada.	Potência de ligação inferior ou igual a 50% da potência contratada e, no máximo, a instalação pode produzir o dobro da energia consumida no local.
Limite de venda de eletricidade	2,4MWh/ano solar e 4MWh/ano eólica, por cada kW de potência de ligação.	2,6MWh/ano solar e 5MWh/ano eólica, por cada kW de potência de ligação.
Acesso ao regime bonificado	Coletor solar térmico com um mínimo de 2 m^2 de área útil ou caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente no local de instalação.	Realização de auditoria energética e se necessário implementação de medidas de eficiência energética.
Tarifa de venda	15 anos de regime bonificado remunerados: 8 anos a 0,326 €/kWh e 7 anos a 0,185 €/kWh; Passados 15 anos, tarifa de venda igual à de compra.	Escalão I pago à tarifa de referência de 0,215 €/kWh, escalão II e escalão III pago à tarifa mais alta resultante das maiores ofertas de descontos.
Valor da Tarifa a aplicar	Energia solar: 100% da tarifa de referência; Energia eólica: 80% da tarifa de referência.	Energia solar: 100% da tarifa de referência; Energia eólica: 80% da tarifa de referência.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Tendo o estudo incidido na energia fotovoltaica e eólica, a fundamentação teórica baseou-se maioritariamente no livro do Professor Doutor Rui Castro (Castro, 2011) e no manual de formação de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (Pães, et al, 1996).

Em seguida serão apresentados, em linhas gerais, os fundamentos utilizados no desenvolvimento experimental e análise de resultados.

3.1 Energia Fotovoltaica

Nos dias que correm, a energia solar é a fonte de energia elétrica mais confiável de todas (Prasad). Este facto, aliado ao baixo custo de operação (derivado a não haver lugar a custos com combustível), leva a que estes sistemas possam ser considerados um investimento aliciante. Contudo, o custo inicial elevado inerente à implementação deste tipo de projetos implica que o risco associado tenha de ser bem medido.

As típicas células fotovoltaicas são constituídas por silício onde, com o movimento dos seus eletrões (devido a incidência de fotões de radiação solar) e a construção de um circuito elétrico fechado, se consegue gerar energia. A união de diversas células constitui um módulo e a união dos vários módulos um painel fotovoltaico.

O modelo utilizado para se calcular a energia produzida foi o de **um díodo e três parâmetros**. Este modelo tem em consideração a radiação e a temperatura da célula, fatores estes que influenciam a potência de saída da mesma.

De uma forma sucinta, considera-se que a potência máxima produzida por um módulo é dada pela seguinte equação:

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \quad (1)$$

Onde,

P_{max} = potência máxima;

V_{max} = tensão máxima;

I_{max} = corrente máxima.

Por outro lado,

$$V_{max}^{(k+1)} = mV_T \ln\left(\frac{\frac{I_{CC}}{I_0}+1}{\frac{V_{max}^{(k)}}{mV_T}+1}\right) \; e \; I_{max} = I_{CC} - \left(I_o\left(e^{\frac{V_{max}}{mV_T}} - 1\right)\right) \quad (2)$$

Onde,

m = fator de idealidade do díodo;

V_T = potencial térmico;

I_{cc} = corrente de curto-circuito;

I_0 = Corrente máxima inversa de saturação do díodo.

Atendendo a que os dados de irradiância disponibilizados tiveram como base medições feitas num plano horizontal, existe a necessidade de alterar esse valor para um ângulo com a inclinação desejada. Para tal, utilizou-se o método disponível no manual de formação anteriormente referido (Pães, et al, 1996), onde a irradiância global para um plano inclinado (Jm^{-2}), de ângulo ß°, depende de três tipos de radiação:

$$G(\beta) = B(\beta) + D(\beta) + R(\beta) \qquad (3)$$

Onde,
D = radiação difusa;
B = radiação direta;
R = radiação refletida.

A energia solar fotovoltaica produzida mensalmente depende do número de horas de cada mês e da potência máxima à saída do painel. Este valor apresenta ainda um decréscimo, associado ao rendimento do inversor, pelo que o valor da energia mensal é dada pela seguinte equação:

$$E_{mês} = \eta \cdot P_{\max} H_{mês} \qquad (4)$$

Onde,
$E_{mês}$ = energia produzida mensalmente;
$H_{mês}$ = número de horas do mês;
η = rendimento do inversor.

A energia solar fotovoltaica produzida anualmente é o somatório das energias produzidas mensalmente.

3.2 Energia Eólica

Atualmente, este tipo de energia é considerada uma das fontes mais promissoras (Castro, 2011). Em Portugal, o investimento neste tipo de fonte renovável está a intensificar-se, visto que a mesma é cada vez mais explorada e existirem condições climatéricas favoráveis à sua utilização. Para se calcular a energia produzida por uma turbina eólica devido ao movimento gerado pelo vento, utiliza-se um modelo probabilístico para o vento quase-estacionário.

Neste artigo apenas será mencionado o caso específico da função de probabilidade, onde se utiliza k=2, obtendo-se desta forma uma função de probabilidade acumulada de Rayleigh:

$$F(\bar{u}) = \exp[-\frac{\pi}{4}(\frac{\bar{u}}{u_{ma}})^2] \qquad (5)$$

Onde,
$F(\bar{u})$ = função de probabilidade acumulada da velocidade média do vento;
$\bar{u}$ = velocidade do vento;
$\bar{u}_{ma}$ = velocidade média anual do vento.

Esta função é utilizável quando se conhece apenas a velocidade média anual do vento no local.

Sabendo a probabilidade de ocorrência de uma determinada velocidade do vento e conhecendo a curva de potência elétrica do aerogerador, é possível calcular a energia elétrica produzível pelo mesmo através da seguinte equação:

$$E_a = \eta \,.\, 8760 \sum_{i=u_1}^{u_{max}} [(F(i-1) - F(i)) \frac{P_e(i) + P_e(i-1)}{2}] \quad (6)$$

Onde,

E_a = energia anual média produzida;

η = rendimento;

u_{max} = velocidade máxima do vento;

P_e = potência elétrica.

3.3 Análise económica de um investimento

Para se verificar a viabilidade de um investimento, é necessário calcular alguns parâmetros de carácter económico e analisar os resultados. Assim, o Valor Atual Líquido (VAL) pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$VAL = \sum_{j=1}^{n} \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} - \sum_{j=1}^{n-1} \frac{I_{Lj}}{(1+a)^j} \quad (7)$$

Onde,

R_{Lj} = receitas liquidas anuais;

I_{Lj} = investimento líquidos anuais;

a = taxa de atualização.

Outro parâmetro de elevada importância é a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR):

$$\sum_{j=1}^{n} \frac{R_{Lj}}{(1+TIR)^j} - \sum_{j=1}^{n-1} \frac{I_{Lj}}{(1+TIR)^j} = 0 \quad (8)$$

Esta taxa representa o valor de a para o qual o VAL se anula.

O Tempo de Retorno Bruto (Trb) do investimento realizado é dado pela equação que se segue:

$$Tr_b = \frac{I_t}{R_1 - d_1} \quad (9)$$

Onde,

I_t = investimento total;

R_1 = Receita no ano 1;

d_1 = despesa no ano 1.

4. LOCAIS ESTUDADOS

Para a realização deste estudo foram escolhidas três estações radar e três estações de micro-ondas, abaixo descritas, que se encontram distribuídas por Portugal Continental de Norte a Sul, de forma a ser possível analisar o potencial de diferentes zonas do país. Os dados relativos à potência contratada e ao consumo de energia anual de cada Unidade, foram disponibilizados pela Direção de Infraestruturas FA. Os restantes valores foram obtidos tendo por base a tabela 1:

- **Estação de Radar Nº 1 (ER1):** Esta estação está localizada em Monchique, mais precisamente no pico de Foia, e encontra-se a 902 metros de altitude.

  A instalação apresenta as seguintes características: alimentação em Média Tensão (MT) com uma potência contratada de 349kW, consumo anual de 2.339.960,0kWh e uma potência de ligação máxima de 174,5kW.
- **Estação de Radar Nº 2 (ER2):** Esta estação está localizada em Paços de Ferreira, na serra do Pilar, sendo a estação radar que se encontra mais a Norte.

  A instalação apresenta as seguintes características: alimentação em MT com uma potência contratada de 382kW, consumo anual de 2.579.299,0kWh e uma potência de ligação máxima de 191,0kW.
- **Estação de Radar Nº 3 (ER3):** Esta estação está localizada em Lamas – Cadaval, na serra de Montejunto.

  A instalação apresenta as seguintes características: alimentação em MT com uma potência contratada de 372kW, consumo anual de 2.020.040,0kWh e uma potência de ligação máxima de 186,0kW.
- **Estação de Micro-ondas Chorafome:** A estação de micro-ondas encontra-se localizada na Asseiceira, perto de Tomar.

  A instalação apresenta as seguintes características: alimentação em MT com uma potência contratada de 14,5kW, consumo anual de 10.472,0kWh e uma potência de ligação máxima de 7,3kW.
- **Estação de Micro-ondas Arrábida:** Localizada na Serra da Arrábida, perto do concelho de Setúbal.

  A instalação apresenta as seguintes características: alimentação em BT com uma potência contratada de 20,7kW, consumo anual de 19.995,0kWh e uma potência de ligação máxima de 10,4kW.
- **Estação de Micro-ondas Ponta da Alheta:** Está localizada no extremo Sul de Portugal, junto ao mar, no concelho de Sagres.

  A instalação apresenta as seguintes características: alimentação em MT com uma potência contratada de 46,5kW, consumo anual de 86.037,0kWh e uma potência de ligação máxima de 23,3kW.

No que se refere ás condições ambientais, a estação de microondas da Ponta da Alheta é o local que apresenta um valor de velocidade do vento maior, 7,58m/s a 80m, e a ER2 a que apresenta um valor menor, 4,75m/s a 80m. A rugosidade do solo apresenta o maior valor na ER3, 0,3m, e o menor valor na Ponta da Alheta, 0,0001m. Os valores de irradiação solar diferem com o decorrer dos meses. No entanto, na maioria dos casos, o mês de julho é o que apresenta o valor superior e os meses janeiro e dezembro são os que apresentam menores valores de

irradiação. A Arrábida é a estação de microondas que apresenta o maior valor de irradiação solar (284W/m^2 no mês de julho) e a ER2 é a que apresenta o menor valor (105W/m^2 no mês de janeiro).

5. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Para se fazer a análise dos sistemas de geração de uma forma mais expedita, elaboraram-se folhas de cálculo em Excel onde se introduziram diversos dados e características dos locais e dos dispositivos de produção. De forma a se obterem os dados climatéricos, utilizou-se um simulador desenvolvido pelo LNEG(1), o SOLTERM 5, de onde se retiraram características como temperatura e irradiação solar diária, e consultou-se o Atlas do Potencial Eólico, disponibilizado pelo LNEG, para extrair dados sobre a rugosidade do solo, velocidades médias anuais dos ventos e as suas direções predominantes.

6. ANÁLISE ECONÓMICA

De modo a aproximar o estudo o mais possível da realidade do mercado, os valores utilizados nos custos de investimento, equipamento e Operação e Manutenção (O&M) tiveram como base a consulta de diversos catálogos de equipamentos e os orçamentos cedidos por empresas nacionais, designadamente:

- Vensol – Disponibilizou um orçamento "chave na mão" para um sistema solar fotovoltaico fixo e com seguidor. Equipamento a instalar da ISOFOTON;
- Energia Lateral – Forneceu valores para aerogerador *SkyStream*, bem como valores de O&M para sistemas de eólicos (Mendes, 2012);
- FFsolar – Cedeu uma tabela com diversos valores de equipamentos fotovoltaicos;
- aSUN – Através da sua página de *internet* foi possível obter um orçamento "chave na mão". Equipamento a instalar da *FLUITECNICK*;
- Visabeira – Disponibilizou um orçamento "chave na mão" para sistema solar fotovoltaico fixo e com seguidor. Equipamento a instalar da *JINKO*;
- Energia Livre – Forneceu diversos preços para aerogeradores, bem como características importantes da instalação (Carreira, 2012). Equipamento a instalar da *HUMMER*.

Os resultados apresentados têm por base os seguintes pontos:

- Investimento total realizado no ano zero, valor de O&M igual a 1% do investimento total para sistema fotovoltaico fixo e de 2% para sistema fotovoltaico com seguidor solar e eólico. No décimo ano, acresce o custo da substituição do inversor em ambos os sistemas;
- O tarifário de venda sintetizado na tabela 2 (exceção da Arrábida para o último período, pago a 0,14 €/kWh):

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Tabela 2: Tarifário de venda €/kWh

	Microgeração			**Minigeração**	
Períodos	1º	2º	3º	1º	2º
Solar	0,33	0,19	0,13	0,22	0,13
Eólica	0,26	0,15	0,13	0,17	0,13

- Todos os valores mantêm-se constantes ao longo do período de vida do projeto, que se estima ser de 20 anos, tendo-se admitido uma taxa de atualização de 4% face à atual situação económica do país. O sistema com seguidor solar tem um aumento de produção de 30% em relação ao sistema fixo (Sousa, 2012).
  Devido à legislação em vigor, apenas se podem instalar sistemas de microgeração na Arrábida (a única alimentada em BT, DL n.º 118-A/2010, art.4º). Nas instalações de minigeração, por apresentarem resultados mais satisfatórios, apenas se consideraram instalações dentro do primeiro escalão de produção (20kW, DL n.º 34/2011, art.2º).

Em seguida, serão apresentados os valores de investimento e potência instalada, o valor de O&M anual e o custo do inversor para os locais que se apresentaram economicamente mais viáveis (microgeração na Arrábida e minigeração na ER3 e Ponta da Alheta).

Tabela 3: Investimento e Despesas da instalação

Arrábida	aSUN	Visabeira (seguidor)	Visabeira (fixo)
Tipo de Instalação	**solar/micro**	**solar/micro**	**solar/micro**
Potência Instalada	4,32kW	4,32kW	4,32kW
Total Investimento	9.047 €	15.134 €	11.882 €
Despesas			
O&M	90 €	303 €	119 €
Inversores	1.420 €	1.420 €	1.420 €

Da análise, efetuada na Arrábida (tabela 3), pode verificar-se que nos sistemas de microgeração existe uma diferença considerável entre os sistemas solares fixos e os com seguidor, sendo a proposta da aSUN a que apresenta um investimento inicial menor. Verifica-se, igualmente, que neste local as propostas de microgeração apresentam melhores resultados do que as de minigeração.

Tabela 4: Investimento e Despesas da instalação

ER3	**Energia Livre**
Tipo de Instalação	**eólico/mini**
Potência Instalada	20kW
Total Investimento	46.823 €
Despesas	
O&M	936 €
Inversores	12.970 €

Tabela 5 - Investimento e Despesas da instalação

Ponta da Alheta	**Energia Livre**
Tipo de Instalação	**eólico/mini**
Potência Instalada	20Kw
Total Investimento	46.823 €
Despesas	
O&M	936 €
Inversores	12.970 €

Atendendo aos dados constantes nas tabelas 4 e 5, pode verificar-se que o investimento inicial em energia eólica é bastante superior ao da energia solar, justificado pela maior potência instalada.

De seguida apresentam-se o VAL e a TIR, calculados a 20 anos, para os respetivos locais:

Tabela 6: Investimento Economicamente Viáveis (VAL e TIR)

Arrábida	aSUN (micro solar)	Visabeira (micro solar fixo)	Visabeira (micro solar seguidor)
VAL	10.287,0 €	7.060,9 €	7.765,3 €
TIR	18,5%	11,9%	11,0%
ER3	Energia Livre (mini eólica)		
VAL	18.771,4 €		
TIR	8,5%		
Ponta da Alheta	Energia Livre (mini eólica		
VAL	91.297,5 €		
TIR	22,9/%		

Analisando a tabela 6, constata-se que todos os resultados apresentam VAL bastante positivos, chegando inclusive a atingir um valor superior a noventa mil euros para a Ponta da Alheta. Como tal, qualquer um destes investimentos, do ponto de vista económico, apresenta-se viável. O tempo de retorno do investimento realizado na Arrábida (aSUN), ER3 e Ponta da Alheta é de 5, 8 e 4 anos, respetivamente.

7. ANÁLISE TÉCNICA

Para as propostas economicamente viáveis, é necessário verificar a sua viabilidade técnica. Assim, tendo em conta a tabela 1 e um rendimento do inversor de 92% para a geração eólica e de valor variável (consoante a potência) para o fotovoltaico, calculou-se a energia produzida pelos sistemas de geração em estudo, bem como o espaço necessário para a instalação dos mesmos.

Nos sistemas de microgeração, a potência instalada é de 4,32kW. Estando esta potência à entrada do inversor, não se excede o limite de 3,68kW para a potência de ligação.

Para a geração eólica, considerou-se, ainda, que o vento seria do tipo não turbulento e a instalação do aerogerador com a potência o mais próxima possível do limite.

7.1 Arrábida

Para este local foram escolhidos dois fornecedores:

- A aSUN, que instala 18 painéis de 240W, Fluitecnik FTS 240M, onde o seu conjunto para uma inclinação de 34º (obtida através do *Solterm*) produz anualmente 6.425 kWh e ocupa uma área de aproximadamente 35m^2;
- A Visabeira, com uma proposta fixa de 18 painéis JINKO JKM250P-60 de 240W cada unidade, instalados com a mesma inclinação de 34º, produzindo anualmente 6.423 kWh para o sistema fixo e 8.347 kWh com seguidor. Estes ocupam uma área aproximada de 33m^2.

Com base nas propostas apresentadas pelos fornecedores, conclui-se que a produção energética do sistema fixo está muito próxima em ambos os equipamentos, fazendo com que o investimento inicial seja muito importante. Contudo, optando-se por um sistema de seguimento, a produção aumenta 30%.

Tendo como princípio a utilização apenas de áreas pertencentes à FA e de forma a evitar interferências com os sistemas de comunicações e radar existentes nos locais estudados, os dispositivos de geração devem ser colocados como mostra a figura 1: direcionados para Sul e com uma inclinação de 34º.

Figura 1: Implantação do sistema fotovoltaico (imagem ilustrativa)

Conclui-se, assim, que é tecnicamente viável a instalação do sistema de microgeração solar na Arrábida, apesar de a estes 18 painéis acrescer o sistema solar térmico que ocupa cerca de 2m^2.

7.2 ER3

Para esta estação de radar, a melhor proposta consiste no sistema de minigeração eólico (Energia Lateral), com um aerogerador Hummer H9.0-20kW (Hummer, 2012). Este produz anualmente 38.986 kWh e tem uma altura total de cerca de 21m. Utilizando o Atlas do Potencial Eólico, verificou-se que os ventos predominantes neste local provêm de Nor-noroeste, obrigando a que o aerogerador seja colocado a norte da torre, de forma a tirar o máximo partido possível do vento. Tendo em conta que a base do radar aí existente está abaixo dos 15m de altura e que numa área correspondente a um cone com menos três graus de abertura, 360º em torno do radar, não pode existir nenhum obstáculo, verifica-se que não é possível instalar o aerogerador, visto este ter uma altura superior à base do radar e, consequentemente, interferir com o funcionamento do mesmo. Conclui-se, assim, que a instalação neste local é tecnicamente inviável.

7.3 Ponta da Alheta

Para esta estação de micro-ondas, a melhor proposta diz respeito a um sistema de minigeração eólico (Energia Lateral), constituído por um aerogerador Hummer H9.0-20kW (Hummer, 2012). A sua produção anual é de 71.454 kWh. Os ventos predominantes neste local são provenientes do Norte, significando que o aerogerador terá de ser instalado virado para Norte e, preferencialmente, sem nenhum obstáculo na sua direção. De forma a reduzir ao máximo a interferência com os sistemas de comunicações e rádio ajudas aí existentes, o aerogerador deverá ser instalado como mostra a figura 2.

Figura 2: Implantação do aerogerador na Ponta da Alheta

Sendo a instalação efetuada no local acima indicado, considera-se que esta proposta também é tecnicamente viável.

Resumindo, das diversas propostas analisadas, concluiu-se com este estudo que é viável a instalação do sistema de microgeração fotovoltaico na Arrábida e do sistema de minigeração eólico na Ponta da Alheta.

8. CONCLUSÃO

Portugal, como membro da União Europeia, assumiu a responsabilidade de diminuir a emissão de GEE e, nessa sequência, desenvolveu um plano Nacional para a Energia com o horizonte de 2020. Porém, cabe a todos nós contribuir para que estes objetivos sejam alcançados.

A escolha deste estudo recaiu na minigeração e microgeração, visto serem temas actuais nas áreas do ambiente e energia, incluindo na própria FA. Da consulta à legislação existente, foi possível aferir que esta se encontra bem estruturada e que é de fácil interpretação.

Ambos os sistemas apresentam um regime bonificado e um regime geral. Para se usufruir de tarifa bonificada é obrigatório preencher diversos requisitos. Por exemplo, no sistema de microgeração, é necessário, entre outros, instalar um sistema solar térmico.

Utilizando o programa de simulação *Solterm* e o Altas do Potencial Eólico, foi possível obter os dados relativos às condições ambientais dos locais escolhidos, tendo-se concluído que a Ponta da Alheta é o local que apresenta maior potencial eólico, em termos de velocidade do vento e rugosidade do solo, e que a Arrábida apresenta as melhores características solares.

Escolhendo-se a energia eólica e fotovoltaica, estudaram-se os diversos locais, abordando-se diversos conteúdos teóricos. Recorrendo à teoria referida no ponto 3 e ao programa de simulação referido no ponto 5, desenvolveram-se folhas em Excel que poderão eventualmente ser utilizadas em estudos futuros.

Com base nos dados fornecidos pelas empresas consultadas e nas folhas de cálculo desenvolvidas, conclui-se que a viabilidade do projeto está fortemente dependente do local de instalação e do investimento inicial. Como para um mesmo local existe uma grande igualdade, em termos produtivos, nos sistemas fotovoltaicos disponíveis no mercado, constata-se que o custo com a aquisição e manutenção dos equipamentos assume uma grande importância.

Fazendo uma comparação das várias propostas disponibilizadas, seguida de uma análise económica inicial através do cálculo do VAL e da TIR e, posteriormente, uma análise técnica, conclui-se que as propostas viáveis são a Arrábida com um sistema de microgeração solar fotovoltaico (aSUN), equivalendo a um VAL de cerca de dez mil euros, e a estação de micro-ondas da Ponta da Alheta, para um sistema de minigeração eólico (Energia Lateral) com um VAL de cerca de noventa mil euros. Quanto ao tempo de retorno, este é de 5 anos para a Arrábida e de 4 anos para a Ponta da Alheta. Porém, aquando da instalação e operação destes dispositivos, é necessário acautelar o normal funcionamento dos equipamentos já existentes nestes locais e utilizar terrenos que não careçam de custos de aluguer por ocupação.

Outro ponto importante a salientar, refere-se à diversa concorrência que existe no mercado para este tipo de energia, bem como a variedade de preços e equipamentos disponíveis. Como tal, estudos semelhantes ao aqui efetuado, dentro das Forças Armadas, ou até para Portugal, assumem uma importância elevada, porquanto ter sido aqui provado que existem diversas propostas viáveis e com retornos interessantes.

No futuro, de forma a complementar este trabalho, seria interessante estudar outras variáveis, como por exemplo, a influência dos aerogeradores nos emissores de sinal HF, a utilização de terrenos não pertencentes à Força Aérea, a presença de vento turbulento e o efeito de sombras sobre os painéis fotovoltaicos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASUN – O MEU SISTEMA [Consultado a 9 Julho 2012]. Disponível em http://www.asun.pt/np4/design/?link_order&loadTemplate=1488&utm_source=mail_all&utm_campaign=d0b34f88a9-Atribui%C3%A7%C3%A3o+Pot+Junho+-+All+emails&utm_medium=email

BY ENERGY – Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) [em linha]. 6 Agosto 2010 [Consultado a 5 Setembro 2012]. Disponível em http://www.byenergy.pt/estrategia-nacional-para-a-energia/

CARREIRA, Arménio – Pedido de orçamento [Em linha] 7 Outubro 2012. [Consultado a 7 Outubro 2012]. Comunicação pessoal.

CASTRO, Rui - **Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica**, IST Press, Abril 2011

COSTA, Paulo; ESTANQUEIRO, Ana - **ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO**, Versão 1.0 [CD] abril 2004

DECRETO-LEI N.º 34/2011. D.R. I Série. 47 (2011-03-08) 1316-1325

DECRETO-LEI N.º 118/A2010. D.R. I Série. 207 (2010-10-25) 4834-4834

EMFA – Estação de radar nº1 [Consultado a 20 Setembro 2012]. Disponível em http://www.emfa.pt/www/unidade-24-estacao-de-radar-n-1

HUMMER – Product Information [Consultado a 8 Outubro 2012]. Disponível em http://www.chinahummer.cn/index.php/index/content/35

INETI – Solterm 5.0.0 [Software]

LIVRE, Energia – Preços/Produtos [Consultado a 7 Outubro 2012]. Disponível em http://aerogeradores.blogs.sapo.pt/tag/Pre%C3%A7os/%20Precios/%20Price

MENDES, Luís – Instalação Micro/Minigeração [Em linha] 22 Junho 2012. [Consultado a 22 Junho 2012]. Comunicação pessoal.

PÃES, Sasseti; RODRIGUES, Nunes; AGUIAR, Ricardo – Curso de formação ação do programa altener – dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos - Lisboa 1996

PORTARIA N.º 284/2011. D.R. I Série. 208 (2011-10-28) 4726-4727

PRASAD, Deo; SNOW, Mark - **Designing with solar power - A source book for building integrated photovoltaics (BiPV)**, Images Publishing Dist Ac.

RENOVÁVEIS NA HORA – Entrada. [Consultado a 20 Abril 2012]. Disponível em http://www.renovaveisnahora.pt/web/srm/entrada

SOUSA, Adelino – PUB KIT AUTO-CONSUMO FV [Em linha] 18 Junho 2012. [Consultado a 18 Junho 2012]. Comunicação pessoal.

Análise Numérica da Aceleração da Consolidação de Solos com Recurso a Pré-carga e Drenos Verticais

Autor: Henrique Rodrigues,
Alferes Aluno do Mestrado Integrado na Especialidade de Engenharia de Aeródromos
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientadora: Professora Doutora Teresa Maria Bodas de Araújo Freitas
Departamento de Geotecnia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

Resumo: A elevada compressibilidade e a baixa resistência dos solos moles fazem com que a sua utilização enquanto solos de fundação seja um desafio para a engenharia. Com o intuito de ultrapassar essas limitações desenvolveram-se várias técnicas de melhoramento de solos, sendo uma delas a utilização de pré-carga com drenos verticais. Esta técnica consiste em provocar a consolidação do solo a uma tensão semelhante aquela imposta pela estrutura final, antes da sua construção, minimizando-se assim os assentamentos pós-construção.

Existem dois processos na origem dos assentamentos nos solos moles, são eles, a consolidação hidrodinâmica e a fluência. O primeiro consiste na diminuição do volume do solo com aumento da tensão efetiva, associado à dissipação do excesso de pressões intersticiais, provocado pela aplicação da carga. O segundo corresponde à deformação sob tensão efetiva constante.

No desenvolvimento deste trabalho recorre-se ao programa de elementos finitos Plaxis para simular o carregamento de um estrato de solo mole, em condições de confinamento lateral. Elaboram-se modelos com o intuito de reproduzir a consolidação vertical, a consolidação radial e a sua combinação.

Nas simulações realizadas através do programa de elementos finitos foram usados o modelo elástico linear, o modelo Soft Soil e o modelo Soft Soil Creep. O modelo Soft Soil toma em consideração a não linearidade da rigidez do solo e o modelo Soft Soil Creep considera adicionalmente o efeito da fluência. Os resultados destes modelos são comprados com as soluções analíticas de Terzaghi e Barron.

Neste trabalho elaboram-se análises simples para determinar os assentamentos no final da consolidação, tendo em consideração o efeito da fluência e a sua ausência. Estas análises permitem avaliar de que forma a técnica de aceleração da consolidação influencia a amplitude dos deslocamentos no final da consolidação primária, e após.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Âmbito e objetivos do trabalho

Prevê-se que em 2015 cerca de 80% da população mundial viva em zonas costeiras, zonas essas que são caracterizadas pela presença de solos aluvionares, formados por sedimentação de detritos transportados pela ação da água (rio ou mar). Nestes locais, o solo de fundação é menos resistente e mais sensível a deslocamentos quando carregado. Com o intuito de colmatar estas limitações do terreno de fundação, para a construção de estruturas, existem técnicas de melhoramento de solos. O objetivo é garantir que as estruturas cumpram o período de vida útil pretendido e que as suas fundações não apresentem deslocamentos que possam comprometer a sua utilização.

A técnica de melhoramento de solos visada neste trabalho consiste na utilização de pré-carga com o auxílio de drenos verticais. Esta técnica visa a aceleração do processo de consolidação no período anterior à implantação da estrutura final, minimizando assentamentos posteriores.

Através do recurso a um programa de elementos finitos os objetivos deste trabalho são:

- analisar a importância dos drenos verticais enquanto elementos que permitem a aceleração da consolidação;
- observar o efeito da fluência no processo de consolidação;

- analisar comparativamente os resultados obtidos através de equações teóricas e os resultados obtidos através de um programa de elementos finitos, considerando o efeito da fluência;
- compreender de que forma a aceleração do processo de consolidação pode influenciar os assentamentos pós-consolidação em modelos em que se considera o efeito da fluência.

1.2 Tecnologia em estudo

As técnicas de melhoramento de solos têm como objetivo principal o melhoramento das suas características gerais, de forma a serem eficientemente usados como solos de fundação de estruturas. Estas técnicas visam o aumento da resistência ao corte, redução da compressibilidade e, consequentemente, da permeabilidade (Van Impe, 1989). A tecnologia em análise engloba duas técnicas: a pré-carga e a implementação de drenos verticais.

1.2.1 Pré-carga

Geralmente, a pré-carga refere-se ao processo de consolidação de uma camada de solo sob uma tensão vertical aplicada anteriormente à construção e implantação da estrutura definitiva. Existem dois métodos de aplicação de pré-carga. O primeiro refere-se à pré-carga efetuada por meio da construção de um aterro e o segundo à pré-carga induzida por um sistema de vácuo. Este segundo tipo não será abordado neste estudo.

Quando uma carga, normalmente sob a forma de aterro, é aplicada de forma rápida a um solo saturado com baixa permeabilidade, a carga é inicialmente suportada pela fase líquida e geram-se excessos de pressão intersticial. Com o tempo, o excesso de pressão intersticial decresce gradualmente devido ao movimento da água presente nos poros. Sem a introdução de drenos verticais o movimento da água é, por norma, exclusivamente vertical.

A técnica da pré-carga consiste na realização de um aterro, durante a fase de obra, que transmita ao maciço uma carga superior àquela que irá ser a carga definitiva suportada pelo mesmo. A carga em excesso será retirada quando forem obtidos assentamentos semelhantes àqueles que se esperam obter por consolidação para o valor de carregamento da estrutura que se pretende construir. Provavelmente, a maior restrição para utilização desta técnica residirá na capacidade resistente do solo. Assim, se o solo a tratar não possuir capacidade resistente para suportar o carregamento em excesso da pré-carga, esta técnica não poderá ser utilizada.

Para efetuar a gestão do tempo de aplicação da pré-carga terá que se ter em conta as variáveis: assentamento pretendido, quantidade de pré-carga utilizada e capacidade resistente do solo. Aumentando o tempo de aplicação de pré-carga, para o mesmo assentamento pretendido, poder-se-á reduzir o volume de terra movimentado para aplicação da mesma, salvaguardando-se, assim, a possibilidade de se atingir a capacidade resistente do solo. No entanto, esta escolha implicará um maior tempo de aplicação da técnica em obra. Cabe ao projetista e dono de obra gerir estas variáveis da forma que mais lhes seja conveniente.

1.2.2 Drenos verticais

Os drenos verticais são uma tecnologia complementar à utilização de pré-carga. São introduzidos no solo com o intuito de melhorar as condições de drenagem do solo, reduzindo-se o tempo necessário para atingir um determinado grau de consolidação sob o efeito da pré-carga.

Os drenos verticais permitem a aceleração da consolidação uma vez que, com a sua utilização, o movimento da água para os drenos é horizontal e nesta direção o escoamento é mais rápido, pois o coeficiente de permeabilidade horizontal é, geralmente, superior ao vertical, devido à estrutura do solo induzida pela sedimentação e, por outro lado, permitem reduzir o caminho de percolação (Hausmann, 1990).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Consolidação

A consolidação corresponde a um fenómeno de variação de volume devida à variação de tensão efetiva, por saída de água do interior do solo. A forma e a morosidade com que este fenómeno se processa dependem essencialmente de três aspetos: a permeabilidade do solo, a espessura do estrato que sofre consolidação e das condições de fronteira (capacidade dessas fronteiras para efetuar a drenagem) (Maranha das Neves, 2007).

A teoria de Terzaghi, descreve matematicamente a evolução dos assentamentos por consolidação ao longo do tempo. Esta teoria, considera que a dissipação do excesso de pressões intersticiais ocorre na direção vertical porque a percolação ocorre neste sentido, considerando-se por isso uma teoria unidimensional (Matos Fernandes, 2011). Por ser a teoria de mais simples interpretação, serve de base a todas as outras teorias de consolidação (de Barron e teorema de Carrillo), que tratam respetivamente a consolidação radial e combinada.

A solução de Terzaghi para o excesso de pressão intersticial a uma dada profundidade, z, de um estrato de base impermeável de altura H, é dada pela seguinte expressão:

$$u_e(Z,T) = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2u_e(0)}{M} (\sin(MZ)) e^{-M^2 T} \qquad \textbf{Eq. 2.1}$$

em que

$Z = \frac{z}{H}$, $T = \frac{c_v \times t}{H^2}$ e $M = \frac{\pi}{2(2m+1)}$, com variável inteira tomando como valores 0, 1, 2, 3….

c_v é o coeficiente de consolidação, que relaciona o coeficiente de compressibilidade volumétrica, m_v, do solo com a seu coeficiente de permeabilidade, k, como se apresenta na expressão seguinte:

$$c_v = \frac{k}{m_v \, \gamma_w} \qquad \textbf{Eq. 2.2}$$

Partindo da expressão da Eq. 2.1 e sabendo que o grau de consolidação médio do estrato em consolidação é a razão entre os assentamentos que ocorrem até determinado instante, t, e o assentamento total, a solução pode ser escrita da seguinte forma:

$$\overline{U_z}(t) = 1 - \sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T} \quad \text{Eq. 2.3}$$

O valor do grau médio de assentamento corresponde a uma percentagem do assentamento total, podendo, assim, determinar-se o assentamento em cada instante.

A solução radial é em tudo semelhante à vertical, baseando-se, por isso, na solução de Terzaghi. Barron (1948) foi o percursor da solução radial, propondo solução para dois casos distintos de deformação: caso 1 - caso de deformação vertical livre; caso 2 - caso de deformação vertical uniforme (Barron, 1948).

Neste trabalho apenas se utilizam as equações do caso 2, que são as que seguidamente se apresentam:

O excesso de pressão intersticial num ponto afastado r do centro da coluna de solo, com um dreno de raio r_w pode ser determinado pela expressão Eq. 2.4.

$$u_{er}(r,t) = \frac{4\overline{u_e}}{d_e^2 F(n)}\left[R^2 \ln\left(\frac{r}{r_w}\right) - \left(\frac{r^2 - r_w{}^2}{2}\right)\right] \quad \text{Eq. 2.4}$$

com

$$\overline{\mathbf{u_e}} = \mathbf{u_{ei}} \mathbf{e}^{-\frac{2\mathbf{T_r}}{\mathbf{F(n)}}} \quad \text{Eq. 2.5}$$

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1}\right)\ln(n) - \left(\frac{3n^2 - 1}{4n^2}\right) \quad \text{Eq. 2.6}$$

$$n = \frac{R}{r_w} \quad \text{Eq. 2.7}$$

$$T_r = \frac{c_h t}{R^2} \quad \text{Eq. 2.8}$$

Partindo da Eq. 2.4 o grau médio de consolidação é dado por:

$$\overline{U_r} = 1 - e^{-\frac{2\mathbf{T_r}}{\mathbf{F(n)}}} \quad \text{Eq. 2.9}$$

A solução de Carrillo (1942) rege a consolidação conjunta, nas direções vertical e radial, combinando as equações das soluções das teorias de Terzaghi e Barron, como se apresenta na equação seguinte (Carrillo, 1942):

$$\overline{U} = 1 - \left[\left(1 - \overline{U_z}\right)\left(1 - \overline{U_r}\right)\right] \quad \text{Eq. 2.10}$$

2.2 Influência do tempo e da taxa de extensão no comportamento dos solos

Após a conclusão do processo de consolidação (dissipação completa do excesso de pressões intersticiais) não se verifica uma completa estabilização das deformações volumétricas da argila. Este fenómeno de deformação, que ocorre sob tensão efetiva constante, é conhecido por fluência.

Os ensaios edométricos avaliam com relativa facilidade a fluência (ou compressão secundária) dos solos. A compressão secundária é caracterizada pelo parâmetro, C_{α}, denominado coeficiente de compressão secundária. Este parâmetro é definido através da Eq. 2.11.

$$C_{\alpha} = \frac{\Delta e}{\Delta \log(t)} \qquad \textbf{Eq. 2.11}$$

em que Δe representa a variação do índice de vazios e t o tempo.

Não restam dúvidas quanto à existência do fenómeno de fluência, no entanto, existem duas hipóteses que colocam em causa o fato de existir, ou não, um instante exato para o início deste processo (Augustensen, Liingaard, & Lade, 2004). Para os defensores da Hipótese A, a fluência começa apenas após o fim da consolidação primária, por oposição aos defensores da Hipótese B, que sustentam que a fluência ocorre durante todo o processo de consolidação, o que implica que a magnitude das deformações por fluência seja maior.

A influência da taxa de deformação aplicada na resposta tensão-deformação em solos moles, como as argilas é um assunto que tem vindo a ser estudado nos últimos 30-40 anos. Para demonstrar a influência da taxa de deformação em argilas faz-se a comparação de ensaios realizados a diferentes taxas de deformação e observa-se a resposta quando a taxa de deformação é alterada durante o ensaio.

Depois de analisados os resultados de vários ensaios endométricos, Leroueil (1985) sugeriu que o comportamento das argilas fosse controlado por uma relação única entre tensões efetivas, extensões e taxa de deformação ($\sigma' - \varepsilon - \dot{\varepsilon}$). Leroueil (1985) demonstrou que esta relação única pode ser representada por duas curvas: uma devolvendo a relação tensão efetiva-deformação normalizada e outra a variação da tensão de pré-consolidação com a taxa de deformação.

3. MODELAÇÃO

O processo de modelação faz parte da atividade de projeto. Um modelo matemático ou físico constitui sempre uma simplificação da realidade. Na situação particular deste trabalho os solos moles são o objeto a tratar pelos modelos. Para isso, admitem-se algumas pressupostos relativamente às ações, à geometria, às condições de fronteira e às equações constitutivas.

Para efetuar a simulação do comportamento do solo durante o processo de consolidação, recorre-se ao programa de elementos finitos Plaxis 2D, no qual é permitido efetuar análises em estado plano de deformações e em axissimetria. Os modelos constitutivos usados nas análises foram: o modelo elástico-linear, o modelo Soft Soil (SSM) e o modelo Soft Soil Creep (SSCM) (Brinkgreve, Broere, & Waterman, 2002).

O modelo elástico-linear é o de mais simples compreensão, pois tem por base a lei definida por Robert Hooke ($\sigma = E\varepsilon$). Este modelo, para as mesmas condições de fronteira, apresenta resultados coincidentes com os das equações teóricas definidas no capítulo 2.

O modelo Soft Soil tem por base modelo Cam Clay Modificado, sendo preferencialmente aplicado a casos em que existe compressão de solos moles. As principais características são o facto da rigidez depender do nível de tensão aplicado e a resposta do solo ser diferente em carregamento primário e em descarga-recarga.

Os modelos Soft Soil e Soft Soil Creep são muito semelhantes em termos de princípio de funcionamento sendo que, ao segundo, se acrescenta o efeito da fluência, conseguindo, assim, reproduzir uma lei única de tensão-deformação-taxa de deformação.

A geometria e condições de fronteira são definidas de acordo com o tipo de consolidação que se pretende simular (vertical, radial ou combinada). Em todos os modelos devem-se impermeabilizar as fronteiras por onde não se pretende que exista fluxo de água. Assim, na consolidação vertical, só a superfície superior deve ser permeável; na radial só uma das fronteiras laterais; e na combinada uma lateral e a superior.

Para a materialização dos drenos verticais, neste trabalho, utilizam-se dois métodos: através da condição de fronteira *drain*, disponibilizada no programa, ou através da utilização de um volume de material de permeabilidade muito elevada. Na Figura 1 apresentam-se os exemplos de condições de fronteira e de apoio definidas para a consolidação radial.

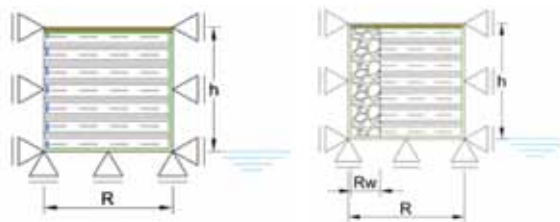



Figura 1: Representação gráfica das condições de fronteira
(à esquerda consolidação radial com drain; à direita consolidação radial com material drenante)

As características escolhidas para o solo mole apresentam-se na Tabela 1 e correspondem, em geral, a valores típicos de argilas normalmente consolidadas.

Tabela 1: Características adotadas para o solo mole

Símbolo (unidades)	Variável	Valores
$\gamma_{seco}\left(kN/_{m^3}\right)$	Peso volúmico seco	15
$\gamma_{saturado}\left(kN/_{m^3}\right)$	Peso volúmico saturado	17
$e_0\ (--)$	Índice de vazios	1,4
$\phi'\ (°)$	Ângulo de resistência ao corte	26
$c\ (kPa)$	Coesão	1
$k\left(\frac{m}{s}\right)$	Coeficiente de Permeabilidade	1×10^{-9}
$\nu\ (--)$	Coeficiente de Poisson	0,3
$C_c\ (--)$	Coeficiente de compressibilidade	0,6
$C_s\ (--)$	Coeficiente de expansibilidade	0,08
$C_\alpha\ (--)$	Coeficiente de compressão secundária	0,03

Nas simulações em que se usam 2 materiais, a areia é caracterizada por parâmetros iguais aos do solo argiloso, alterando-se unicamente o valor do coeficiente de permeabilidade, k, que se assume k=0,1 m/s. Pretende-se, assim, minimizar eventual transferência de tensões, que poderia ocorrer caso se assumisse que o dreno tem uma rigidez superior ao solo argiloso.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Consolidação Vertical

Na análise da consolidação vertical, foi considerada a evolução de três parâmetros ao longo do tempo, nomeadamente o excesso de pressão intersticial na base da camada (fronteira impermeável), o grau médio de consolidação e o grau médio de assentamento.

A Figura 2 apresenta os resultados das modelações realizadas, com modelo elástico-linear, modelo Soft Soil e modelo Soft Soil Creep, para estratos de argila com 4 espessuras distintas: 2 centímetros, 20 centímetros, 2 metros e 10 metros, em termos da evolução do excesso de pressão intersticial na base do estrato (fronteira impermeável) ao longo do tempo, após a aplicação rápida de um incremento de tensão vertical de 50kPa (50-100kPa).

Observa-se que o tempo necessário para a dissipação do excesso de pressão intersticial varia com a espessura da camada, independentemente do modelo constitutivo utilizado na simulação. Pela observação do gráfico, é possível constatar que o tempo necessário para obter um dado grau de dissipação de pressão intersticial é aproximadamente proporcional ao quadrado da maior distância de percolação.

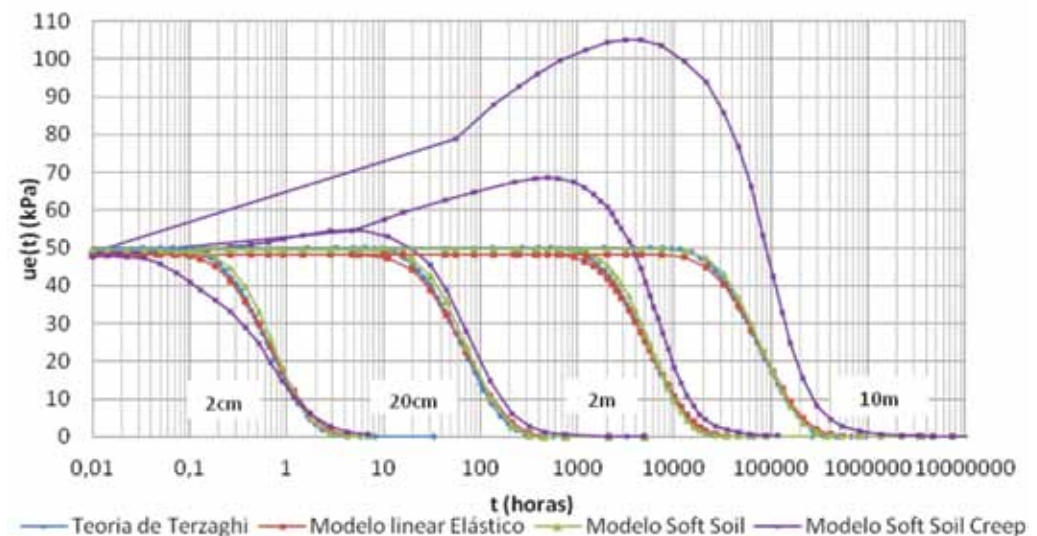



Figura 2: Variação do excesso de pressão intersticial na base

Pela análise da Figura 2, constata-se, como seria de esperar, que as curvas relativas à solução de Terzaghi e ao modelo elástico-linear são coincidentes, uma vez que fazem uso do

mesmo coeficiente de consolidação, c_v, como sendo uma característica representativa de toda a camada, que é invariável ao longo do processo de consolidação. Este valor é obtido com base na compressibilidade média no incremento de tensão vertical 50-100kPa, no ponto médio do estrato. O c_v, é o indicado para a obtenção de resultados ajustados com o modelo Soft Soil.

O modelo Soft Soil tem em consideração a variação da rigidez do solo com o nível de tensão, ou seja, em profundidade e ao longo do processo de consolidação. No gráfico da Figura 2 é possível observar que a curva do modelo Soft Soil é praticamente coincidente com as curvas do modelo elástico e da teoria de Terzaghi, no entanto, pode constatar-se uma pequena diferença. Isto acontece devido à variabilidade do c_v, ao longo do processo de consolidação no modelo Soft Soil.

Comparativamente aos modelos restantes, o modelo Soft Soil Creep apresenta um acréscimo de pressão intersticial no início do processo de consolidação, que é muito superior aquele que seria expectável para o incremento da tensão vertical imposto, igual a 50kPa. Este acréscimo é tanto maior quanto mais espessa é a camada. Apenas no estrato com 2 centímetros não é visível o acréscimo de pressão intersticial e verifica-se uma dissipação mais rápida do excesso de pressões intersticiais no início da consolidação do que a prevista pela teoria de Terzaghi (e restantes modelos considerados).

Existem dois efeitos que ajudam a explicar o acréscimo de pressões intersticiais no início da consolidação. O primeiro é denominado por efeito de Mandel-Cryer, que apesar de estar presente nos outros modelos constitutivos, é aqui agravado pela presença da fluência no modelo Soft Soil Creep. O segundo está diretamente relacionado com o comportamento do solo na presença de fluência. Uma vez que este modelo constitutivo tem em consideração a viscosidade do solo, e na impossibilidade de efetuar drenagem junto à superfície impermeável nos instantes iniciais do carregamento, em vez de efetuar fluência, o solo sofre um fenómeno de relaxação, implicando o referido acréscimo de pressões.

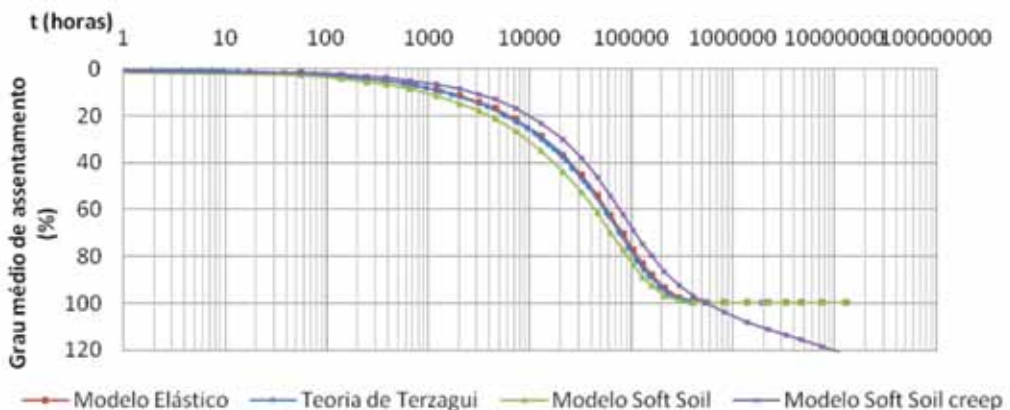



Figura 3: Grau médio de assentamento para estrato de 10m

A nível de assentamentos (Figura 3), os gráficos da teoria de Terzaghi e do modelo elástico-linear, são também coincidentes, pelas razões já expostas. No modelo Soft Soil, observa-se que

os assentamentos evoluem de forma idêntica, mas mais rápida do que no caso da teoria de Terzaghi (a curva encontra-se deslocada para a esquerda).

Para a o Modelo Soft Soil Creep, o efeito da fluência faz com que o grau de assentamento dos modelos evolua para além do valor de 100%, aumentando linearmente com o logaritmo do tempo.

4.2 Consolidação Radial

A análise da consolidação radial é dividida em duas partes. Primeiro, analisam-se somente modelos com recurso ao modelo elástico-linear, fazendo-se variar as características geométricas e o modo como é materializado o dreno. Seguidamente, analisam-se a implicações da consideração da não linearidade dos solos (com a utilização do modelo Soft Soil) e da fluência (com a utilização do modelo Soft Soil Creep).

A primeira análise em modelo elástico diz respeito à implicação que a permeabilidade do dreno tem no processo de consolidação. Elaboraram-se algumas simulações com diferentes coeficientes de permeabilidade, k_w, para o material do dreno e contactou-se que somente o dreno com valor de permeabilidade muito próxima da permeabilidade do solo a consolidar ($k_w = \frac{10^{-8}m}{s}$ VS $k = \frac{10^{-9}m}{s}$) é que apresentava menos eficiência na aceleração da consolidação. Pelas equações que estabelecem a capacidade de descarga mínima do dreno, é possível determinar uma razão mínima entre a permeabilidade do dreno e a permeabilidade do solo para que ele seja eficiente. Assim sendo, para as condições em análise, estabeleceu-se que essa razão seria de $\mathbf{10^2}$ $(\frac{k_w}{k_h} = 128{,}92 \cong \mathbf{10^2})$.

Utilizando a condição de fronteira *drain* para materializar o dreno vertical, elaborou-se uma análise em que se fez variar o raio de influência do dreno. Com isto, observou-se que o *n* (razão entre raio de influência e raio do dreno) de Barron correspondente seria sempre muito elevado e muito próximo do valor de 500.

Elaborou-se uma análise para a situação da consolidação radial pura de uma coluna com 2 metros, 1 metro e 0,5 metros de raio, respectivamente, em que o dreno é materializado pela condição de fronteira *drain*. Uma vez que os resultados para as 3 situações correspondem à mesma solução de Barron, para um *n* aproximadamente igual a 500, verifica-se que o tempo para atingir um dado grau de consolidação médio é proporcional ao quadrado do raio equivalente.

Para compreender a diferença entre uma análise em axissimetria e em estado plano de deformações, elaboraram-se gráficos comparativos e constatou-se que o *n* de Barron correspondente diminui muito, quer para análises com condição de fronteira *drain*, quer para análises utilizando material muito permeável como dreno vertical. No caso das análises com a condição de fronteira drain o *n* de Barron correspondente deixa de ser 500 (axissimetria) para passar a ter o valor de 4 (estado plano de deformações).

No caso de análise em estado plano de deformações, o plano modelado no programa plaxis 2D corresponde a um corte representativo de todos os cortes num desenvolvimento perpendicular ao plano. No caso do estado axissimétrico, o plano modelado corresponde a um corte que é igual a outros cortes que podem ser vistos num raio com eixo sobre a condição de fronteira *drain*. Sabendo isto, compreende-se que, quando se elabora uma modelação em estado plano de deformações, a condição de fronteira *drain* é representativa de um plano, por

oposição ao caso do estado axissimétrico em que esta condição de fronteira *drain* representa somente uma linha. É esta constatação que implica a diminuição do *n* de Barron.

Na Figura 4 analisa-se o efeito da variação da permeabilidade do solo que sofre consolidação e sua influência na determinação do valor de n da curva teórica de Barron que melhor se ajusta à curva de consolidação do modelo. Para todos os modelos representados considera-se o mesmo raio de influência. Neste gráfico, representam-se simultaneamente os modelos em estado plano de deformações (PS) e em axissimetria (Axi). As curvas, cuja legenda é somente um número, representam as curvas de consolidação da teoria de Barron para n igual ao respetivo número.

Em axissimetria com a permeabilidade do solo, k_h, igual a 10^{-9} ; quando a permeabilidade do solo aumenta para 10^{-7} a curva teórica de Barron que melhor se ajusta corresponde, não a n=500 mas, a n=43,5. Nas análises em estado plano de deformações o *n* passa de 4 para 2,8.

O aumento da permeabilidade do solo implica um aumento do valor de n equivalente, ou seja, um aumento do raio do dreno que a condição de *drain* representa. Através das análises feitas não é possível estabelecer uma relação direta entre a permeabilidade e o valor de *n*.

Conclui-se que a condição de fronteira *drain* é somente uma ferramenta do programa Plaxis 2D que representa uma superfície em que o excesso de pressões intersticiais é nulo. A utilização desta condição deve ser cuidadosa e deve ser ensaiada sempre que seja utilizada em projeto para a representação de drenos verticais, uma vez que o raio de dreno que pode representar vai variar de modelo para modelo e depende da permeabilidade do solo.

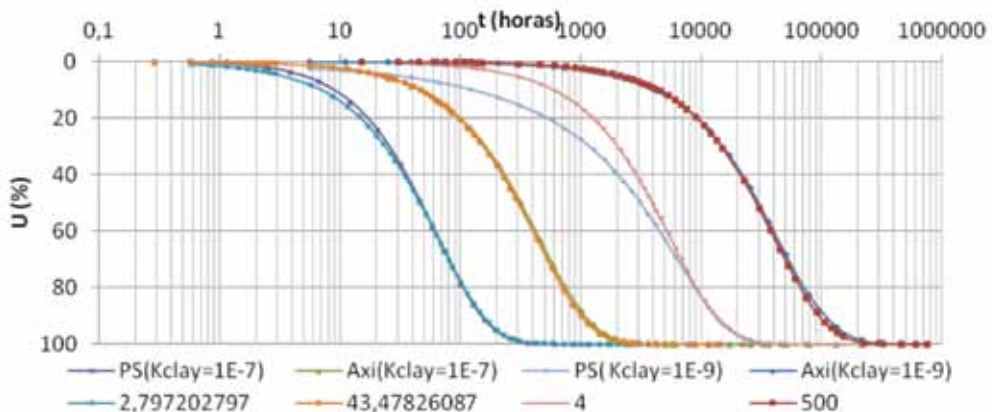



Figura 4: Gráfico representativo da influência da variação da permeabilidade do solo na consolidação radial em análise axisimétrica e em estado plano de deformações

A Figura 5 apresenta a variação do grau médio de consolidação para um estrato com 10 metros de espessura. Na análise desta figura pretende, apenas, observar-se as diferenças quando se utilizam os diferentes modelos constitutivos (Elástico-linear, SSM e SSCM) na evolução da consolidação e de que forma estas diferenças acrescentam valor na interpretação deste processo.

No modelo Soft Soil observa-se que a evolução da curva do grau de consolidação médio (Uc) é mais lenta no inicio do processo de consolidação e mais rápida no fim, quando analisado

comparativamente com o caso do modelo elástico-linear. Esta situação está relacionada com o facto deste modelo constitutivo, Soft Soil, considerar a variabilidade da rigidez do solo com o nível de tensão (m_v diminui e c_v aumenta), enquanto que com o modelo elástico-linear a rigidez é constante e igual ao valor médio. Quanto mais espessa for a camada, maior será a diferença verificada.

No modelo Soft Soil Creep regista-se um acréscimo do excesso de pressões intersticiais no início da consolidação, à semelhança do que se observa na consolidação vertical, que faz com que o grau médio de consolidação atinja valores negativos. Este fenómeno é justificado com o efeito de Mandel-Cryer, já abordado na análise da consolidação vertical, e agravado pela consideração da fluência no processo de consolidação.

Relativamente ao grau de assentamento (Us) observa-se que, tanto no modelo Soft Soil como Soft Soil Creep, este é mais rápido que o grau médio de consolidação. Isto é especialmente visível no modelo Soft Soil Creep. Uma vez que em situações de obra se utilizam os graus de assentamento (Us) para estimar graus de consolidação (Uc), o facto de estes serem diferentes requer especial atenção.

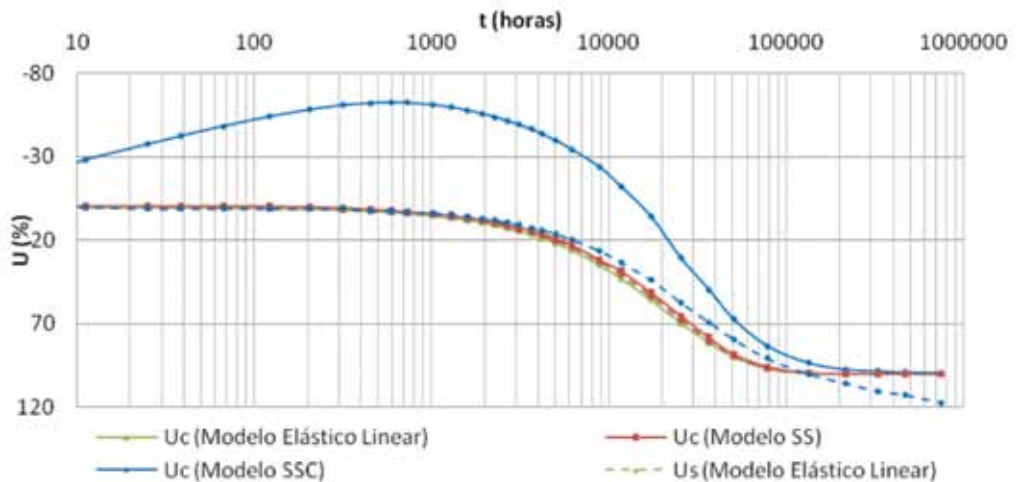



Figura 5 Variação do grau médio de consolidação e assentamento durante a consolidação radial de um estrato de 10m com raio de influência de 2m utilizando a condição de fronteira drain

4.3 Consolidação combinada (vertical+radial)

Na consolidação combinada muito do que se observa resulta da combinação dos efeitos analisados anteriormente para a consolidação vertical e para a consolidação radial.

O gráfico da Figura 6 apresenta curvas do grau médio de consolidação obtidas através da equação teórica de Carrillo.

No gráfico da Figura 6 faz-se variar a razão entre o raio de influência e o raio do dreno (*n*) com o propósito de se observar a importância da colocação de drenos na aceleração da consolidação, para estrato de diferentes espessuras (2 e 10 metros). Constata-se que a colocação de drenos no solo desempenha um papel tanto mais preponderante para a aceleração da consolidação quanto

mais espessa for a camada de solo a consolidar. Este facto é observável quando se compara a forma como varia a velocidade de consolidação perante a variação *n*. No caso da camada de 2 metros, a variação de *n* tem pouca relevância na variação do tempo de consolidação da camada, por oposição à camada de 10 metros, em que esta variação é muito significativa.

A Figura 7 mostra a variação do grau médio de consolidação com o tempo durante a consolidação de um estrato com 2 e 10 metros de espessura quando se permite consolidação vertical e radial. As curvas representadas dizem respeito aos modelos constitutivos: elástico-linear, Soft Soil e Soft Soil Creep.

Comparando a evolução da curva dos modelos em Soft Soil com a evolução das curvas em modelo elástico, observa-se que, no início da consolidação, o modelo elástico é mais rápido que o modelo Soft Soil, passando no fim a observar-se o contrário. Este fenómeno é semelhante ao já observado na consolidação vertical e é explicado pelo facto de o modelo Soft Soil considerar a variabilidade das características do solo em profundidade, por oposição ao modelo elástico que só considera a rigidez constante e igual ao valor médio da camada.

No caso do modelo Soft Soil Creep, à semelhança do que acontece na consolidação vertical e na consolidação radial, existe um acréscimo de tensões devido ao efeito de Mandel-Cryer, bastante visível por ser considerado o fenómeno da fluência neste modelo constitutivo. No entanto, o acréscimo de tensões é menor que o observado no caso das consolidações analisadas separadamente, principalmente no estrato de 2 metros. Esta situação é explicada com a redução do caminho de percolação mais curto, que implica uma consolidação mais rápida.

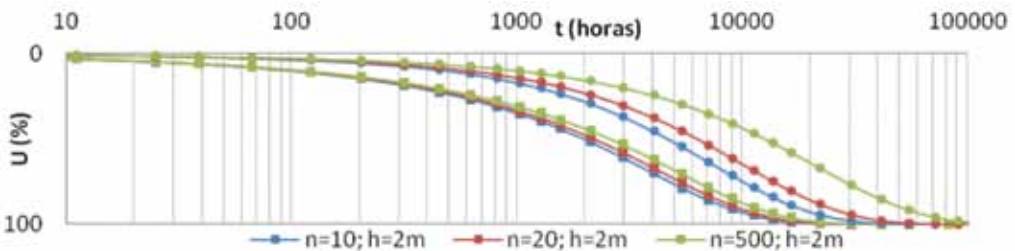



Figura 6: Representação gráfica da evolução do grau de consolidação combinada segundo a teoria de Carrillo para estratos de 2m e 10m variando a razão entre raio de influência e raio de dreno (n)

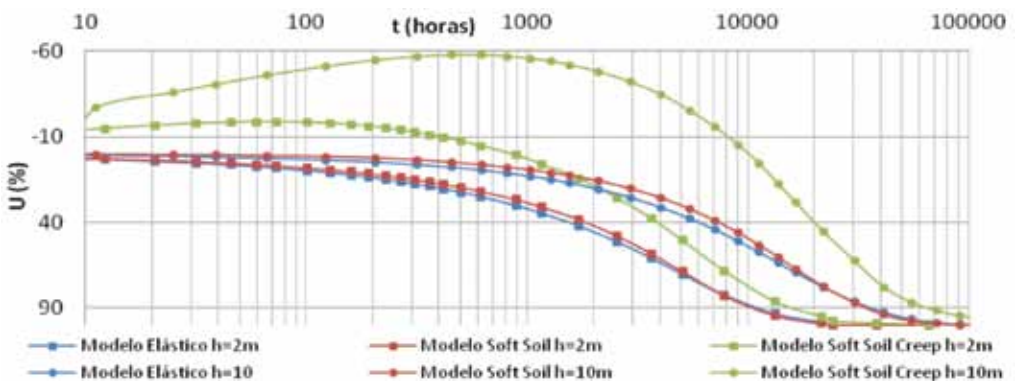



Figura 7: Representação gráfica da evolução do grau médio de consolidação para estrato de 2m e 10m com recurso aos modelos elásticos, Soft Soil e Soft Soil Creep

5. ANÁLISE DO EFEITO DA FLUÊNCIA NA PREVISÃO DE ASSENTAMENTOS

A Tabela 2 apresenta resumidamente alguns valores que permitem caracterizar a deformação de estratos com diferentes espessuras no final da consolidação primária, em consolidação puramente vertical. Considera-se o fim da consolidação primária no instante em que o grau médio de dissipação de excesso de pressões intersticiais é igual a de 95%. Os valores obtidos com o modelo Soft Soil Creep são comparados com os valores obtidos através do modelo Soft Soil, que não considera o efeito da fluência.

Tabela 2: Dados relativos aos assentamentos no final da compressão primária no caso de consolidação puramente vertical

Espessura (m)	0,02	0,2	2	10
Tempo para atingir o fim da consolidação primária (EDP)	2,9 horas	13,4 dias	37,2 meses	95,4 anos
Taxa de deformação (SSC Model) (1/s) no EDP	7,00E-07	7,30E-09	9,83E-11	4,27E-12
Assentamento (SSC Model) (mm)	1,31	18,08	207,32	997,26
Assentamento (SS Model) (mm)	1,47	14,71	126,05	407,65

Observando os assentamentos das camadas de diferentes espessuras, constata-se, como seria de esperar, que o assentamento aumenta com o aumento da espessura da camada, uma vez que para valores de extensão semelhantes se tem maior altura de camada. Associado à altura da camada está, também, o tempo de duração da consolidação, que vai desde 2,9 horas para o caso do ensaio edométrico até 95,4 anos para a camada de 10 metros.

Quando se analisam modelos em que se reproduz o efeito da fluência é interessante observar a evolução da taxa de deformação. Durante um processo de consolidação a taxa de deformação diminui ao longo do tempo. Quando se considera a ocorrência de fluência, a deformação continua a ocorrer, mesmo após o fim da consolidação primária, com taxa decrescente, tal que a deformação tem um andamento linear logarítmico. Assim sendo, quanto mais demorado for o processo de consolidação menor taxa de deformação se observará no fim da consolidação.

A Tabela 3 apresenta o efeito da aplicação de drenos verticais num estrato de 10 metros. O objetivo é observar que alterações ocorrem a nível de tempo de consolidação e de taxa de deformação vertical final.

Tabela 3: Efeito da aplicação de drenos verticais na aceleração da consolidação de um estrato de 10m

	Vertical	R=2	R=1
Tempo (s)	1144,4	138,8	42,3
Taxa de deformação (1/s)	4,27E-12	2,59E-11	7,38E-11

A tabela permite concluir que a aplicação de drenos verticais tem um peso importante na diminuição do tempo de consolidação, principalmente se os drenos forem dispostos segundo um afastamento muito inferior à espessura do estrato.

A nível da taxa de deformação no final da consolidação, constata-se que varia de forma inversa com o tempo necessário para atingir o fim da consolidação.

Na Tabela 4 apresentam-se os assentamentos no final da consolidação primária, e 50 anos após a mesma, para um estrato de 10 metros de espessura. Observa-se que a diferença de assentamentos entre o final da compressão primária e após 50 anos (assentamentos por fluência) é tanto maior quanto mais rápida for a consolidação primária (maior taxa de deformação no EDP- "End Of Primmary). Este fato é notório quando se compara a diferença observada no caso de consolidação sem drenos verticais com o caso da consolidação com drenos verticais, com 1 metro de afastamento. No primeiro a diferença é de 3 centímetros e no segundo é 20 centímetros.

Tabela 4: Previsão de assentamentos no fim do período de vida útil (50 anos) para um estrato de 10 metros após o final da compressão primária

Raio influência	Fim da compressão primária (m)	Após 50 anos (m)	Diferença (m)
1	0,811	1,010	0,199
2	0,881	1,010	0,129
0	0,997	1,030	0,033

Os resultados apresentados na tabela anterior levam a sugerir o uso cuidado das técnicas de aceleração da consolidação. Pois se é verdade que permitem atingir o grau de consolidação pretendido mais rapidamente, também é verdade que atingem esse instante com uma taxa de deformação superior, o que pode originar deslocamentos pós construção por fluência indesejáveis.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Na execução deste trabalho foram analisados, através do programa de elementos finitos Plaxis 2D, estratos com diferentes geometrias (espessuras e afastamento entre drenos) onde se pôde observar de que forma os modelos constitutivos utilizados variavam e de que forma permitem a interpretação do comportamento do solo durante a consolidação.

No que diz respeito à avaliação dos efeitos da fluência no final do processo de consolidação observou-se que:

- a aplicação de drenos verticais provoca um aumento da taxa de deformação no final da consolidação;
- o aumento da taxa de deformação implica o aumento do assentamento do solo pós consolidação.

Como desenvolvimentos futuros, propõe-se a análise de casos de obra em que se utilizem drenos verticais como técnica de aceleração da consolidação. Desta forma, poderão ser comparados os resultados do programa de elementos finitos com os resultados observados em obra. Sugere-se, também, um estudo aprofundado do efeito do grau de sobreconsolidação na diminuição dos assentamentos pós consolidação primária.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Augustensen, A., Liingaard, M., & Lade, P. V. (2004). **Evaluation of Time-Dependent Behavior of Soils**. *International Journal of Geomechanics, ASCE*.

Barron, R. A. (1948). **Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells**. *Transactions of ASCE, 113(2346)*, 718-724.

Brinkgreve, R., Broere, W., & Waterman, D. (2002). ***Plaxis 2D- Version 8 - Reference Manual***. Delft: A. A. Balkema Publisheres.

Carrillo, N. (1942). **Simple two and three dimensional consolidation**. *Jnl. Math. and Phys*, vol 21, no.1.

Hausmann, M. R. (1990). ***Engineering principles of ground modification.*** New York: McGraw-Hill .

Maranha das Neves, E. (2006). ***Mecânica dos Solos e das Rochas.*** Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Matos Fernandes, M. d. (2011). ***Mecânica dos Solos - Conceitos e Principios Fundamentais*** (2ºEdição ed., Vol. Volume 1). Porto: FEUP edições.

Terzaghi, K. P. (1996). ***Soil Mechanics in Engineering Practice*** (3ª ed.). Wiley-Interscience.

Van Impe, W. (1989). ***Soil Improvement Techniques and their Evolution.*** Roterdão, Países Baixos: A.A. Balkema.

Aplicação de Estratégias de Hedging no Custo de Combustível da Força Aérea Portuguesa

Autor: Bruno Caetano, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na Especialidade de Administração Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Professor Doutor, Carlos Manuel Costa Bastardo
Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa

Co-orientador: Major Gonçalo Rodrigo Pinto Cardoso
Direção de Abastecimento e Transportes, Comando da Logística, Força Aérea Portuguesa

Resumo: No quadro da atual conjuntura económica de elevada vulnerabilidade, a gestão do risco assume um papel relevante do ponto de vista organizacional. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e discutir a análise dos efeitos da aplicação de estratégias de *hedging* no custo com *jet fuel* da Força Aérea Portuguesa (FAP), através da utilização de futuros sobre o *heating oil*. A aplicação desta estratégia pretende minimizar a volatilidade do preço da matéria-prima bem como reduzir o custo total decorrente do aumento de valor do combustível nos mercados, aumentando desta forma a estabilidade orçamental. Assim, foi utilizada uma metodologia *ex post facto* baseada no preço pago em *jet fuel* pela FAP (JP8 e Jet A1), no período entre Abril de 2006 e Dezembro de 2011, considerando três cenários de *hedging*: aquisição de futuros anual, semestral, e trimestral. Para cada cenário foi estudada a percentagem de *hedging* ideal.

Os resultados demonstram que, genericamente, uma cobertura total das necessidades de ambos os combustíveis através da compra de contratos de futuros do *heating oil* permitiria uma poupança e uma menor volatilidade no preço de combustível. A aquisição anual de futuros revelou-se a opção mais consistente no quadro da gestão de risco aqui analisada, dado que permitiria uma poupança total de 7,356 milhões ao longo dos seis anos do estudo, demonstrando que a aplicação de estratégias de *hedging* poderia ter-se afigurado uma alternativa viável no contexto da FAP. Estes resultados revelam-se congruentes com dados de estudos internacionais desenvolvidos quer no sector público quer no privado.

Palavras-chave: Hedging, Futuros, Jet Fuel, Força Aérea Portuguesa

1. INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura económica de grande incerteza, a gestão do risco tem vindo a assumir um papel cada vez mais preponderante dentro das organizações. Nos últimos anos tem-se assistido a uma grande volatilidade no preço do petróleo e, consequentemente, nos produtos que dele derivam, como é o caso do jet fuel, afetando em larga medida a indústria da aviação. As companhias aéreas utilizam estratégias de *hedging* (i.e., cobertura de risco) para se protegerem face aos custos com o combustível (Morrell & Swan, 2006; Carter, et al., 2002). De uma forma genérica, *hedging* significa garantir um determinado preço em futuras compras de combustível, protegendo desta forma os custos de uma rápida subida do preço do jet fuel. Em contrapartida, é também possível que impeça poupanças num cenário de descida do mesmo. Em suma, as companhias aéreas recorrem a estratégias de *hedging* para estabilizar o custo de combustível (Morrell & Swan, 2006).

No contexto da Força Aérea Portuguesa (FAP) as despesas com combustível para as aeronaves representam uma percentagem significativa do total dos custos operacionais. Historicamente, o Regime de Esforço (RE) em relação ao orçamento total da FAP oscila numa percentagem compreendida entre os 10% e os 13% (DivOPS, 2011). Estes custos estão expostos à incerteza do preço da matéria-prima e, consequentemente, ao potencial risco de desvio orçamental. A literatura existente na área de gestão do risco foca-se quase exclusivamente na aplicação de estratégias de *hedging* ao sector privado (e.g., Carter et al, 2006, 2002; Bodnar et al, 1999,1998,1996; Froot et al, 1993), havendo relativamente poucos estudos que analisem

o impacto destas práticas ao sector público ou a instituições não lucrativas (e.g., Bucar et al, 2004; Essadam & Miller, 2008).

Partindo destes pressupostos, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os efeitos da aplicação de uma estratégia de *hedging* no sector público, em particular, no custo com jet fuel da FAP, através da utilização de futuros sobre o heating oil. Especificamente, pretende-se compreender o impacto desta estratégia no custo médio mensal de jet fuel da FAP e, consequentemente, analisar a possibilidade de minimizar perdas devido ao potencial aumento do preço da matéria-prima. Para tal, será utilizada no presente estudo uma metodologia *ex post facto* baseada no consumo e preço pago em jet fuel pela FAP, no período entre Abril de 2006 e Dezembro de 2011. Desta forma, é comparado o custo efetivamente despendido em combustível e aquele que adviria do recurso a uma estratégia de *hedging*. Neste sentido, a identificação do impacto desta estratégia no contexto da FAP traduz-se numa potencial redução da exposição à volatilidade do mercado petrolífero. A aplicação de um programa de *hedging* pode proporcionar poupanças significativas no combustível e reduzir a volatilidade do preço pago, bem como alcançar uma melhoria dos processos de elaboração e execução orçamental permitindo uma maior estabilidade do orçamento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Evolução do mercado de derivados

Nos últimos 30 anos os derivados tornaram-se importantes instrumentos financeiros com impacto significativos na gestão financeira e no controlo orçamental. Dois dos principais tipos de derivados são os Futuros e as Opções, que são atualmente ativamente transacionados em inúmeras bolsas a nível mundial (Hull, 2009), com a sua origem a remontar ao século XIX na região de Chicago, nos Estados Unidos da América.

A designação “derivado” é autoexplicativa, na medida em que pode ser definido como um instrumento financeiro cujo valor e pagamentos deriva, ou depende, de um ativo subjacente (Ross et al., 2008). Na maioria dos casos, o ativo subjacente é transacionado em mercado regulamentado e pode ser uma ação, uma *commoditie*, uma taxa, uma moeda, uma obrigação, entre outros.

Os derivados são ferramentas que podem ser utilizadas pelas empresas na gestão dos riscos inerentes ao ato de negociar (CME, 2006). Quer isto dizer que a sua utilização permite às empresas modificar a sua exposição ao risco (reduzindo dimensões indesejadas de risco) ou até transformar a exposição em formas completamente diferentes (Ross et al., 2008). Assim, os investidores procuram reduzir as suas potenciais perdas com o objetivo de maximizar os seus rendimentos tomando decisões com base neste tipo de expectativas (Cao et al., 2003).

Por outro lado, quando os agentes económicos não possuem o ativo subjacente e recorrem ao mercado de derivados passamos para o campo da especulação, cujo único intuito é a obtenção de ganhos através da variação dos preços. Usar os derivados para expressar a convicção de que a taxa de juro ou outro qualquer ativo irá aumentar ou diminuir de valor é exatamente o oposto do *hedging* (Ross et al, 2008). Assim, estes investidores não só estão

disponíveis a correr os riscos, como asseguram liquidez dos mercados e a sua estabilidade. Os especuladores não pretendem comprar ou vender o ativo subjacente na data de maturidade do contrato, pretendem apenas recorrer ao mercado para obter lucros decorrentes da flutuação dos preços (Hull, 2009).

Os contratos de derivados são criados e negociados em dois mercados com características distintas: o mercado em bolsa (organizado) e o mercado de balcão (O*ver-the-Counter* (OTC)) (Chance, 2003). No mercado em bolsa estamos perante uma entidade que permite realizar transações em contratos de futuros e que estabelece os mecanismos através dos quais as partes podem comprar e vender os contratos. Os contratos são padronizados, o que significa que a bolsa determina a data da maturidade, o ativo subjacente, o montante e unidades do ativo subjacente por contrato, para além de outros termos e condições. Neste sentido, somente o preço é negociado na celebração do contrato, todas as outras características estão estabelecidas à partida (Chance, 2003). Esta facilidade de negociação deve-se ao elemento intermediário que está presente em todas as transações, a Câmara de Compensação (Ferreira, 2008). Através da intermediação, esta entidade anula o risco de crédito nas bolsas de derivados, uma vez que ela própria assume a responsabilidade do cumprimento das obrigações de ambas as partes (Edwards & Ma, 1992).

Nos mercados *Over-the-Counter,* as partes negoceiam diretamente, acordando entre si as características específicas de cada contrato. No entanto, existe uma diferença fundamental quando comparamos o mercado em bolsa e o mercado de balcão: existência de risco de crédito (Ferreira, 2008). No mercado de balcão, dado que as partes negoceiam diretamente, não havendo um intermediário, o risco de incumprimento (*default*) da contraparte é bastante mais elevado do que em mercado organizado. Em mercado OTC, uma das partes pode não honrar o compromisso na data acordada, o que já não acontece no mercado organizado, pois os contratos são assegurados pela Câmara de Compensação (Chance, 2003). É esta entidade que assume a responsabilidade pelo cumprimento das obrigações das duas partes, anulando o risco de crédito nas bolsas de derivados.

2.2. Papel dos derivados como instrumento de gestão

As estratégias de *hedging* do combustível começaram a ser empregues pelas companhias aéreas por volta de 1989 (Clubley, 1999). Décadas mais tarde, Carter et al. (2002) desenvolveram um trabalho nos EUA onde avaliaram a utilidade do *hedging* no preço de *jet fuel* enquanto fonte de valor para as operadoras aéreas. Os resultados sugerem que existe uma forte correlação entre estas duas variáveis, bem como uma correlação negativa entre os preços do *jet fuel* e os *cash flows*. Neste sentido, tendo em conta que a despesa com combustível neste sector representa uma grande percentagem dos custos operacionais, as companhias aéreas reconhecem a utilização desta estratégia como potencialmente adequada para a cobertura de risco. Estes resultados foram sendo reforçados em diferentes estudos desenvolvidos nesta área, nomeadamente, na "*Southwest Airlines*", e cujos resultados revelaram que a maioria dos instrumentos usados foram os *swaps*, futuros, opções *call* e *collars,* tendo maioritariamente como ativos subjacentes o crude, o *heating oil* ou o *jet fuel* (Carter et al., 2004). Do mesmo modo Morrel & Swan (2006) exploraram a natureza e a dimensão da aplicação do *hedging* pelas

grandes companhias aéreas mundiais e tentaram perceber as razões para a utilização destes instrumentos de cobertura de risco. Os autores concluíram que a maioria das companhias faz a cobertura do preço do *jet fuel* através de derivados do crude, tendo políticas permanentes de *hedging* que ajudam a diminuir a volatilidade dos resultados. Poucas são aquelas que têm as suas necessidades cobertas para além dos doze meses.

Contudo, apesar das conclusões dos estudos supracitados, a utilização de instrumentos derivados comporta alguns riscos, especialmente em momentos de grande volatilidade do mercado petrolífero como foi o caso do ano de 2008. Efetivamente, nesse período, a maioria das companhias aéreas mundiais reportou perdas relativas ao *hedging* nos seus balanços devido à rápida descida do preço do petróleo na segunda metade do ano (Dunn, 2009). Neste sentido, Stulz (2004) procurou perceber em que medida os derivados representam ameaças para as empresas e para a economia. Os resultados demonstram que as empresas devem certificar-se que os derivados são utilizados corretamente, através de políticas de *hedging* bem definidas, e que tipicamente as perdas resultantes do uso destes instrumentos são localizadas, concluindo que a economia como um todo fica a ganhar com a existência do mercado de derivados.

2.3. Utilização de derivados no setor público

Não obstante a relevância das conclusões previamente exploradas acerca da utilização de estratégias de gestão do risco financeiro no sector privado nas mais variadas áreas, existe ainda uma escassez significativa de estudos centrados na aplicação destas técnicas ao sector público. Neste sentido, Bucar et al. (2004) estudaram a aplicação de derivados na cobertura à exposição do risco cambial pelo Departamento de Defesa Nacional Canadiano, tendo concluído que a utilização de derivados da moeda diminui o impacto das flutuações da taxa de câmbio desde que a despesa é orçamentada até ao momento em que esta ocorre. Além disso, e especificamente no contexto da utilização de derivados de *commodities*, Essaddam et al. (2008) desenvolveram um trabalho centrado no impacto do uso de uma estratégia ativa de *hedging* sobre as necessidades de combustível de uma base aérea Canadiana. As conclusões do estudo revelam que a utilização de contratos de futuros e de *future call options* diminui a volatilidade do preço pago por litro de *jet fuel*, permitindo assim uma alocação mais eficiente dos recursos públicos.

As posições especificamente defendidas por elementos da Força Aérea Americana (USAF) não têm sido consistentes, no entanto, importa compreender e analisar os argumentos. Spinetta (2004), um oficial da USAF, destacou o impacto que a volatilidade no preço de *jet fuel* representa para o orçamento da USAF. Argumenta assim que, contrariamente à atual abordagem, a implementação de um programa de *hedging* poderia proporcionar um orçamento estável, eliminando o risco da necessidade de procura de fundos suplementares, devido à flutuação dos preços. Do mesmo modo, salienta que o *hedging* permite uma maior capacidade de previsão, uma execução orçamental mais previsível, e que em certa medida, o Departamento de Defesa Americano (DoD) poderá estar a assumir uma posição especulativa, dada a não cobertura do preço do *jet fuel*.

Knapp (2008) levou a cabo um estudo no DoD, na tentativa de explorar uma possível solução para o problema do aumento da despesa devido à constante subida no custo com *jet fuel*.

Investigou a viabilidade da entrada no mercado de futuros por parte do DoD como forma de reduzir o custo com *jet fuel*, e estudou se as potenciais poupanças se sobrepõem aos custos e riscos associados. O autor verificou que, pese embora os resultados positivos da cobertura do risco no sector comercial, o DoD não deveria recorrer a tal mercado com base no argumento de que, tal opção estratégica representaria uma imagem negativa do ponto de vista social, por se tratar de uma entidade governamental. Do mesmo modo, o autor sugere que o risco inerente à aplicação desta estratégia, a ausência de suporte político, e a potencial perda de segurança operacional (dado o cariz militar da instituição) constituem-se como argumentos adicionais para a não utilização desta estratégia. Neste sentido, o autor sugere opções alternativas, nomeadamente, o uso de combustíveis sintéticos, defendendo que poderá ser mais seguro para o governo comparativamente com a implementação de um programa de *hedging*.

Por seu turno, Gibson (2008) também um oficial da USAF, destacou a sua posição das duas anteriores, acrescentando suporte analítico à sua perspetiva. O seu estudo analisou a exequibilidade da utilização de alguns produtos derivados com o objetivo de mitigar as perdas devido ao aumento do preço do *jet fuel* na USAF, e assim aumentar a estabilidade do orçamento do DoD. Conduziu uma análise *ex post facto* com dados da despesa com *jet fuel* compreendidos entre o ano de 1996 e 2007, e chegou à conclusão de que fazer a cobertura do risco do preço do combustível utilizando *heating oil futures* e *heating oil call options* no período referido resultaria numa poupança significativa para o DoD.

2.4. Ciclo orçamental e procedimentos atuais de compra de combustível na FAP

O Orçamento de Estado é "*uma previsão, em regra anual, das despesas a realizar pelo Estado e dos processos de as cobrir*" (Franco, 1992). Sendo a FAP uma instituição integrada na Administração Central do Estado e na direta dependência do Ministério da Defesa é necessário que elabore anualmente uma proposta orçamental relativa ao ano seguinte, com vista à sua integração no Orçamento de Estado. Esta proposta deve ser entregue até Outubro de cada ano, e deve considerar, entre outras questões, as previsões de consumo de combustível. Estas previsões são elaboradas de acordo com a informação proveniente das unidades, que definem as suas previsões de consumo de combustíveis, tendo em conta a previsão do regime de esforço (RE) em horas de voo e o histórico de consumo. Assim, a proposta orçamental, no que aos combustíveis diz respeito, entregue pela FAP é baseada no número de horas de voo previstas (RE) e no preço do *jet fuel* no momento de submissão do orçamento. Desta forma, os fundos são alocados no início de cada ano à FAP e são baseados em projeções de necessidades, tendo em conta o Plano de Atividades para cada ano. Neste sentido, o próprio ciclo orçamental induz um risco acrescido no que respeita ao preço do combustível, pois o tempo que medeia a elaboração/entrega do orçamento e a compra efetiva da matéria-prima expõe a FAP às variações do preço de mercado do *jet fuel*, facto que potencia constantes revisões ao RE ao longo do ano.

Atualmente a FAP procede às suas aquisições de combustível maioritariamente através de duas formas distintas: 1) aquisições no mercado nacional, onde a companhia petrolífera contratada para fazer o fornecimento transporta o combustível até aos depósitos existentes nas diferentes bases da FAP no território nacional, ou as próprias aeronaves são abastecidas nos aeroportos nacionais; e 2) abastecimentos internacionais, aquando da deslocação das

aeronaves portuguesas para território estrangeiro. Neste caso, as aeronaves abastecem os depósitos nos aeroportos onde se encontram, sendo posteriormente enviada a fatura à FAP para pagamento.

Nos abastecimentos internacionais, a FAP está sujeita ao preço praticado naquele local, dado que a aeronave não dispõe de alternativa de abastecimento, o que se traduz num preço de combustível mais elevado. Contrariamente, nas aquisições nacionais, a FAP procede à abertura de um concurso público, em regra anual, sendo que a empresa vencedora cumprirá um conjunto de requisitos protelados no caderno de encargos. Assim, o preço final cobrado à FAP advém da soma da cotação média mensal do *jet fuel* no *Platt's European Marketscan* em USD/Tonelada-Métrica e de um *spread* fixo acordado com a operadora. A FAP adquire cerca de 90% do combustível em mercado nacional, contratando previamente a operadora, sendo que os restantes 10% dizem respeito aos abastecimentos realizados em aeroportos internacionais.

No que diz respeito ao tipo de combustível, são utilizados três tipos nas aeronaves a operar na FAP: o JP8, Jet A1 e 100LL. Os dois primeiros apresentam genericamente as mesmas características e, são utilizados para os motores a reação, sendo que o JP8 possui mais dois aditivos em relação ao Jet A1 (no sentido de cumprir requisitos impostos pelas características de voo de algumas aeronaves militares). Por seu turno, o 100LL é o combustível utilizado para motores a pistão. Em média o JP8 representa aproximadamente 87%, o Jet A1 cerca de 12% e o 100 LL menos de 1% das aquisições. Decorrente da fraca representação percentual do 100LL, este não será incluído neste estudo.

3. METODOLOGIA E ANÁLISE DE DADOS

3.1 Caracterização e obtenção dos dados

Os dados foram recolhidos junto da Secção dos Combustíveis da Direção de Abastecimento e Transportes (DAT) da FAP. Com recurso ao Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional (SIGDN) foi obtido um histórico relativo ao total de litros adquiridos por mês e ao preço pago, procedendo-se posteriormente ao cálculo do preço médio ponderado mensal por galão de JP8 e Jet A1 para o período compreendido entre Abril de 2006 e Dezembro de 2011.

A utilização do *jet querosene*[1], como ativo subjacente dos derivados empregues nas estratégias de *hedging,* seria a forma ideal de replicar o preço do *jet fuel*. No entanto, à exceção de um contrato de futuro sobre o querosene transacionado na *Tokyo Commodities Exchange* (TOCOM), não há em mercado regulamentado nenhum futuro disponível para o combustível de aviação (Morrel & Swan, 2006; Cobbs & Wolf, 2004). Neste sentido, não existindo mercado de futuros para o *jet fuel*, as companhias aéreas vêem-se obrigadas a utilizar outros instrumentos derivados de *commodities* que estejam correlacionados com o preço do *jet fuel* para fazer a cobertura do risco (Cobbs & Wolf, 2004). Várias são as *commodities* utilizadas pelas companhias

(1) Componente primário do *jet fuel*

aéreas como ativos subjacentes dos derivados empregues nas operações de *hedging*. Contudo, o sector comercial utiliza preferencialmente derivados do crude e do *heating oil* para fazer a cobertura de risco (Gibson, 2009; Essadam & Miller, 2008; Knapp, 2008; Carter et al., 2006; Morrel & Swan, 2006; Cobbs & Wolf, 2004; Spinetta, 2004). Num teste de correlação entre os preços do JP8 efetivamente pagos pela FAP e os preços *spot* do crude(2) retirados da *U.S Energy Information Administration* (EIA), obteve-se um coeficiente de correlação de 0,7981. Este valor é inferior a 0,8811 que corresponde ao coeficiente de correlação entre os preços de JP8 e o *heating oil*(3). Por este motivo, no presente estudo será utilizado unicamente o *heating oil* como ativo subjacente dos derivados utilizados.

Uma vez que a FAP é uma organização governamental e de cariz militar financiada em larga medida por verbas provenientes dos contribuintes, o estudo vai ser elaborado com base em instrumentos transacionados unicamente em mercado regulamentado, eliminando-se assim o risco de crédito presente nos mercados OTC. Deste modo, os instrumentos a serem utilizados são contratos de futuros sobre o *heating oil.* Nesta matéria, a escolha recaiu sobre os contratos transacionados na *New York Mercantile Exchange* (NYMEX)(4) por serem os mais utilizados pelas companhias aéreas, pelo facto de serem os mais utilizados em estudos desenvolvidos no sector público e pela disponibilidade e acessibilidade à informação. Uma vez que os contratos equivalentes transacionados no mercado Europeu (e.g., *ICE Gasoil Futures Contract*) são também cotados em dólares por tonelada métrica, o risco cambial manter-se-ia se a escolha tivesse sido sobre estes contratos.

As cotações *spot* do *heating oil* utilizadas neste estudo foram retiradas da *U.S Energy Information Administration. O*s dados relativos aos contratos de futuros para o período em análise foram retirados de um terminal Bloomberg. A informação dos futuros compreende as cotações de fecho diárias dos contratos com maturidade de Janeiro a Dezembro. Neste estudo, optou-se sempre por utilizar o preço de fecho do contrato em detrimento do preço de abertura, do mais elevado ao mais reduzido do dia. Todos os contratos de futuros expiram no último dia útil do mês precedente ao da maturidade (e.g., o contrato com maturidade em Julho de 2010 expira no dia 30 de Junho de 2010).

3.2. Metodologia

À semelhança de Gibson (2009) foi utilizada, neste estudo, uma metodologia *ex post facto*, ou seja, os dados foram analisados retrospetivamente com o intuito de descrever as potencialidades destas estratégias de cobertura do risco caso a FAP tivesse recorrido a contratos de futuros sobre o *heating oil*. Para a análise e compreensão da aplicação de instrumentos derivados na FAP, pretendemos no presente trabalho comparar a volatilidade do preço do combustível e o custo total da estratégia actual (onde não é utilizado o *hedging* como ferramenta de gestão)

(2) Cushing, OK WTI Spot Price FOB (Dollars per Barrel)

(3) New York Harbor No. 2 Heating Oil Spot Price FOB (Dollars per Gallon)

(4) New York Harbor No. 2 Heating Oil Futures and Options

com a volatilidade no preço do combustível e o custo total que a FAP obteria para o período de Abril de 2006 a Dezembro 2011 caso tivesse recorrido ao mercado de derivados. Desta forma, pretende-se analisar o efeito da aplicação destes derivados no preço de combustível e bem como o seu impacto no custo total com o *jet fuel*.

Deste modo, esta análise fornece três cenários distintos de *hedging* através da utilização de futuros: 1) no primeiro cenário a compra dos derivados é efetuada numa base anual, ou seja, a aquisição de futuros é efetuada uma única vez no ano com maturidades de Janeiro a Dezembro; 2) por seu turno, o segundo cenário fornece os resultados caso a compra dos derivados tivesse sido executada semestralmente, sendo que na primeira tomada de posições os contratos teriam maturidade de Janeiro a Junho e na segunda de Julho a Dezembro; 3) por último, construiu-se um cenário onde a aquisição dos futuros teria tido lugar numa base trimestral, ou seja, a cada tomada de posições as maturidades seriam para os três meses seguintes.

Assim, o primeiro cenário desta análise terá como referência o final do ano -n-, especificamente, o 15º dia do mês de Dezembro, para tomar as posições de *hedging* do ano -n+1-. Por exemplo, a compra dos contratos para cobertura do risco de 2010 teria sido efetuada no dia 15 de Dezembro de 2009. No caso do referido dia ser fim-de-semana, opta-se pelo dia útil mais próximo. No segundo e terceiro cenários as posições de *hedging* são tomadas nos moldes do anterior, mas nos meses de Dezembro/Junho e Dezembro/Março/Junho/Setembro respetivamente. Desta forma, para este ano, a compra dos contratos para o primeiro cenário teria sido efetuada no dia 15 de Dezembro de 2005 com a primeira maturidade do contrato a ser o mês de Abril.

Neste estudo, será analisado o rácio de *hedging* preferencial para obter os melhores e os piores resultados, não se limitando a uma única percentagem. Assim, pretende-se analisar os resultados que se teriam obtido no caso de se fazer a cobertura de 25%,de 50%, de 75% ou de 100% das necessidades de combustível para o período seguinte.

A seguir apresenta-se o mecanismo de *hedging* através da utilização de futuros para o JP8. O mecanismo utilizado para o Jet A1 é igual, diferindo apenas no que diz respeito aos valores relativos ao combustível.

Tabela 1: Mecanismo de *hedging*

	Variável	Jan-08	Fev-08	Mar-08	Abr-08	Mai-08
Quantidade Total Comprada JP8 (Gal)	A	714.000	798.000	756.000	630.000	672.000
Preço JP8 sem Hedging (€/Gal)	B	2,4167	2,4017	2,5881	2,7294	2,8894
Preço Compra Futuros HO ($/Gal)	C	2,5979	2,5944	2,5759	2,5234	2,4794
Preço Venda Futuros HO ($/Gal)	D	2,6444	2,5345	2,8397	3,0492	3,1770
Lucro/perda por Galão ($)	E=D-C	0,0465	-0,0599	0,2638	0,5258	0,6976
Taxa de Câmbio EUR/USD	F	1,4582	1,4858	1,5192	1,5786	1,5621
Lucro/perda por Galão (€)	G=E/F	0,0319	-0,0403	0,1736	0,3331	0,4466
Preço JP8 com Hedging (€/Gal)	H=B-G	2,3848	2,4420	2,4145	2,3963	2,4428

A Tabela 1 especifica o mecanismo de *hedging* através da utilização de futuros, apresentando-se, a título de exemplo, os cinco primeiros meses de 2008. Desta forma, no dia 14 de Dezembro

de 2007, o gestor compra ao preço de mercado (Variável C) uma certa quantidade de contratos de futuros sobre o *heating oil* com data de entrega de Janeiro a Maio de 2008. Os contratos são mantidos até à data de expiração, que ocorre no último dia útil do mês precedente ao de entrega, e nesse dia são vendidos ao preço de mercado desse contrato (Variável D). Após a venda do contrato de um mês específico, um lucro ou uma perda por galão é realizado (Variável E). Como os contratos são cotados em dólares, é necessário transformar esta variável em euros por galão (Variável G) tendo em conta a taxa de câmbio EUR/USD (Variável F) no dia da venda. O resultado da venda dos contratos de futuros irá diminuir ou aumentar o preço do JP8 pago pela FAP (Variável B). Desde que o gestor compre uma certa quantidade de futuros de *heating oil* este poderá depois comprar a mesma quantidade de JP8 ao preço que resulta da cobertura de risco.

Analisando os dados apresentados na Tabela 1, verificamos que, por exemplo, no que diz respeito ao preço de JP8 com *hedging* relativo ao mês de Março, o resultado da transação dos futuros diminuiria o preço pago. Com efeito, considerando que no dia 14 de Dezembro de 2007, a FAP compra dezassete contratos de futuros de *heating oil, que* correspondem a 714 mil galões da matéria-prima com data de entrega em Março de 2008 ao preço de mercado de $2,5759 por galão. O contrato expira no dia 29 de Fevereiro de 2008 e nessa data a FAP vende os contratos ao preço de $2,8397 fazendo um lucro por galão de $0,2638. A correspondente taxa de câmbio para o último dia de Fevereiro de 2008 é de 1,5192 significando que a FAP obteve um lucro por galão de 0,1736€. Uma vez que a FAP não é uma organização lucrativa, o resultado da transação dos futuros diminuiria o preço pago pelo JP8 para o mês de Março, cifrando-se nos 2,4145€ em vez dos 2,5881€ pagos no mercado *spot*. No cenário atual, sem cobertura de risco, o custo total do combustível para o mês de Março de 2008 foi de 1.956.604€. Por contrapartida, num cenário de cobertura de risco, o custo total do combustível para o mesmo mês seria de 1.825.362€, caso se fizesse a cobertura de 100% das necessidades o que corresponde a uma poupança de 131.242€.

No caso de ocorrer uma perda, em vez de se obter lucro, na transação dos contratos de futuros isso irá refletir-se num aumento do preço pago pelo JP8, provocando um maior custo total. Para o mês de Fevereiro de 2008, o preço de compra dos contratos de futuros é de $2,5944 por galão e o preço de fecho é de $2,5345 gerando uma perda de 0,0403€ tendo em conta a taxa de câmbio a 31 Janeiro de 2008. O resultado da utilização de instrumentos derivados neste mês de Fevereiro de 2008 seria o aumento do preço pago do JP8 de 2,4017€para 2,4420€ refletindo-se num aumento do custo total em 32.159€.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados das análises realizadas no presente estudo demonstram que a aplicação de estratégias de *hedging* poderia ter proporcionado um menor preço do combustível e um menor desvio padrão por comparação com os resultados atuais, onde não se utilizaram instrumentos derivados. Os resultados de ambos os combustíveis são em tudo semelhantes.

No caso do JP8, no primeiro cenário, com a exceção do ano de 2010, o desvio padrão para o preço médio mensal é menor quando se aplica uma estratégia de *hedging,* demonstrando uma menor volatilidade no preço pago por litro. A volatilidade tende a ser menor quanto

maior for a posição de *hedging*. Também o preço médio anual diminui quando se aumenta a percentagem de cobertura de risco, diminuindo assim o custo total de JP8. No segundo cenário, ao contrário dos resultados obtidos com recurso ao *hedging* anual, observa-se uma inconsistência na evolução do preço médio anual bem como do desvio padrão ao longo das diferentes percentagens de cobertura de risco, verificando-se que há anos que apresentam um aumento do preço á medida que aumenta a cobertura (i.e., 2006, 2008 e 2009) e outros que revelam uma diminuição (2007, 2010 e 2011). Do mesmo modo, os resultados obtidos para o desvio padrão revelam-se inconsistentes intra e entre os anos. No terceiro cenário os resultados são consistentes no que respeita à evolução do preço médio anual, uma vez que, com exceção do ano de 2008, quando se aumenta a percentagem de *hedging* verifica-se uma diminuição do preço. Por outro lado, apesar deste padrão de comportamento do preço, a volatilidade tende a ser maior à medida que se aumenta a cobertura (com exceção dos anos de 2006 e 2007).

Uma vez traduzidos os resultados ao nível da evolução da volatilidade do preço para poupanças ou prejuízos verificarmos que no primeiro cenário quanto maior a posição de *hedging*, maiores serão as poupanças para a FAP. De salientar que em nenhum ano se obteriam prejuízos com o recurso a esta estratégia. Em média, a FAP realizaria uma poupança de 1,047 milhões, por ano, se fizesse a cobertura total das suas necessidades. Por seu turno, num cenário de cobertura de risco semestral, os resultados demonstram que se teria obtido prejuízos sendo tanto maiores quanto mais elevada fosse a percentagem de *hedging*. Utilizando esta estratégia ter-se-ia incorrido numa despesa média anual adicional de cerca de 327 mil euros, num total de 1,960 milhões de prejuízos para todo o período do estudo. Caso se tivesse optado pela cobertura de risco trimestral, à semelhança do primeiro cenário, os resultados apontam para que quanto maior a posição de *hedging,* maiores as poupanças em combustível, traduzindo-se numa poupança média anual de cerca de 60 mil euros para a cobertura total das necessidades ao longo de todo o período em investigação.

Em suma, uma cobertura total das necessidades de ambos os combustíveis através da compra de contratos de futuros do *heating oil,* no início de cada ano e com maturidades para os 12 meses seguintes (1° cenário), permitiria uma poupança total de 7.356 milhões ao longo dos seis anos do estudo.

5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E INVESTIGAÇÃO FUTURA

O presente trabalho tinha como objetivo fundamental analisar o impacto da utilização de estratégias de *hedging* no custo de *jet fuel* da FAP, traduzido na possibilidade de minimizar a volatilidade do preço da matéria-prima a par da redução no custo total decorrente do aumento de valor do combustível nos mercados. Os argumentos que fundamentaram o desenvolvimento deste estudo incluem não só a necessidade de responder à elevada volatilidade do mercado petrolífero através da aplicação de estratégias de cobertura de risco, como de dar resposta à escassez de estudos centrados na aplicação desta estratégia ao sector público.

Os resultados apresentados no presente estudo demonstram efeitos globalmente positivos associados à aplicação de estratégias de *hedging*, observando-se uma poupança total de aproximadamente sete milhões de euros ao longo dos seis anos do estudo, para uma cobertura

total das necessidades de combustível. Estes resultados são congruentes com a literatura existente nesta área, sugerindo efetivamente que a aplicação de *hedging* pode traduzir-se numa redução da volatilidade dos *cash flows*, bem como numa diminuição do custo na compra de combustível. Deste modo, a poupança acima descrita poderá refletir-se numa alocação mais eficiente dos recursos públicos destinados à FAP através da adaptação ao sector público de estratégias de cobertura de risco amplamente utilizadas no sector privado. (e.g., Gibson 2009; Essadam & Miller 2008; Carter et. al., 2006, 2002). De facto, os resultados revelaram que, quer no primeiro quer no terceiro cenário, a utilização desta estratégia poderia ter conduzido a um menor preço do combustível e a um menor desvio padrão por comparação com os dados obtidos sem recurso a instrumentos derivados. No entanto, no segundo cenário foram encontradas inconsistências na evolução do preço médio anual bem como do desvio padrão ao longo das diferentes percentagens de cobertura de risco. De salientar que, no primeiro e terceiro cenários, quanto maior a posição de *hedging,* maiores as poupanças em combustível. Por oposição, num cenário de cobertura de risco semestral, teriam sido obtidos prejuízos, sendo tanto maiores quanto mais elevada fosse a percentagem de *hedging*.

Estes resultados sugerem que a utilização de instrumentos derivados poderá efetivamente constituir-se como uma forma adequada de gerir riscos financeiros no contexto da FAP, à semelhança de estudos desenvolvidos internacionalmente (Carter et al., 2006,2002; Benson & Oliver 2004; Bodnar et al., 1998; Nance et al., 1993). No entanto, importa notar que os resultados obtidos variam em função do cenário escolhido para a implementação da estratégia, sendo que o segundo cenário (semestral) apresenta maiores fragilidades do ponto de vista dos ganhos decorrentes da sua aplicação.

Apesar de terem sido obtidos resultados considerados pertinentes e inovadores no quadro da investigação realizada neste domínio, importa notar algumas limitações do presente estudo. Por um lado, a utilização de uma metodologia *ex post facto* acarreta naturalmente alguma fragilidade na análise dos resultados, que devem ser cuidadosamente interpretados, uma vez que se referem a dados relativos ao passado e por esse motivo passíveis de não se confirmarem no quadro atual dos mercados internacionais ou no futuro. Por outro lado, a dificuldade de implementação de um programa deste tipo numa organização governamental de cariz militar, como a FAP, assume-se como um importante constrangimento à exequibilidade e aplicação prática da estratégia testada no presente trabalho. Com efeito, as restrições legais impedem organismos desta natureza de aceder ao mercado de capitais utilizando dinheiros públicos para cobrir riscos financeiros. Além disso, consideramos que a utilização de opções *call* para testar a eficácia desta estratégia de cobertura de risco poderia ter constituído uma mais-valia para a análise e discussão dos resultados. No entanto, o acesso aos dados das opções para o período em análise não foi possível, constituindo esta uma limitação à possibilidade de discussão e análise mais detalhada dos dados. Finalmente, do ponto de vista metodológico, não foi estabelecido um limite de perdas em situação de evolução contrária ao previsto, o que poderia constituir uma mais-valia num cenário de descida abrupta do preço do *jet fuel*, como aquela verificada na última metade do ano de 2008 e que numa situação real conduziria a perdas avultados nas posições de *hedging*.

Face aos dados aqui apresentados e discutidos, a investigação no futuro poderá beneficiar com a utilização de outro tipo de instrumentos derivados que não os futuros, nomeadamente

as opções *call*, entre outros, dando resposta a uma das limitações aqui apresentada. Deste modo, estudos sistemáticos centrados nos potenciais benefícios da aplicação desta estratégia no quadro do orçamento público poderiam constituir também um ponto de partida para futuras discussões ao nível da regulamentação legal e jurídica. A utilização de uma estratégia de *hedging* dinâmica que adapte as posições de mercado em função do evoluir do preço do combustível pode também constituir-se como um estudo interessante.

Em suma, o presente trabalho apresenta a primeira reflexão acerca da aplicação de estratégias desta natureza na FAP, constituindo-se como inovador e precursor de potenciais novos estudos no futuro. Os resultados vêm reforçar os dados obtidos previamente ao nível internacional, sugerindo que a aplicação de estratégias de cobertura de risco por parte da FAP poderiam contribuir para ganhos organizacionais do ponto de vista da gestão orçamental interna.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benson, K. & Oliver, B., 2004. **Management Motivation for Using Financial Derivatives in Australia**. *Australian Journal of Management,* Volume 29, 2, pp. 225-243.

Bodnar, G. & Gebhardt, G., 1999. **Derivatives Usage in Risk Management by US and German Non-Financial Firms: A Comparative Survey.** *Joumal of International Financial Management and Accounting,* Volume 10, 3, pp. 153-188.

Bodnar, G., Hayt, G. & Marston, R., 1996. **1995 Wharton Survey of Derivatives Usage by US Non-Financial Firms.** *Financial Management,* Volume 25, 4, p. 113.

Bodnar, G., Hayt, G. & Marston, R., 1998. **1998 Wharton Survey of Financial Risk Management by US Non-Financial Firms.** *Financial Management,* Volume 27, 4, pp. 70-91.

Bucar, C., Essaddam, N. & Groves, R., 2004. **A New Framework for Foreign Exchange Risk Management in the Canadian Department of National Defense.** *Finance India,* Volume 18, pp. 687-702.

Cao, M., Li, A. & Wei, J. Z., 2003. **Weather Derivatives: A New Class of Financial Instruments.** *Working Paper.*

Carter, D. A., Rogers, D. A. & Simkins, B. J., 2002. **Does Fuel Hedging Make Economic Sense? The Case of the US Airline.** *Working Paper.*

Carter, D. A., Rogers, D. A. & Simkins, B. J., 2006. **Does Hedging Affect Firm Value? Evidence from the US Airline Industry.** *Financial Management,* Volume 35, 1, pp. 53-87.

Carter, D., Rogers, D. & Simkins, B., 2004. **Fuel Hedging in the Airline Industry: The Case of Southwest Airlines.** *Working papers.*

Chance, D., 2003. ***Analysis of Derivatives for the CFA Program.*** Charlottesville, VA USA: Association for Investment Management and Research.

Clubley, S., 1999. ***An Early Take Off,*** s.l.: Risk Publications.

CME, 2006. ***An Introdution to Futures and Options,*** s.l.: Chicago Mercantile Exchange.

Cobbs, R. & Wolf, A., 2004. **Jet Fuel Hedging Strategies: Options Available for Airlines and a Survey of Industry Practices.** *Finance,* Volume Spring, pp. 467-490.

DivOPS, 2011. ***Regime de Esforço para 2012,*** Informação Nr. 22329, Alfradige: Força Aérea Portugesa.

Dunn, G., 2009. **Airlines Take Another Fuel Hit.** *Airline Business,* Volume 25, 3, p. 10.

Edwards, F. & Ma, C., 1992. ***Futures and Options.*** 1 ed. s.l.:McGraw-Hill.

Essaddam, N. & Miller, D., 2008. **An Application of Hedging Fuel Price Risk in the Canadian Department of National Defence.** *The Business Review,* Volume 9, 2, pp. 360-365.

Fereira, D., 2008. **Futuros e Outros Derivados:Ganhar (e não Perder) nas Bolsas e nos Mercados OTC – Evitar Rogue Traders**. s.l.:Edições Sílabo.

Franco, A. d. S., 1992. ***Finanças Públicas e Direito Financeiro.*** Vol 1, 4ª ed. Coimbra: Almedina.

Froot, K., Scharfstein, D. & Stein, J., 1993. **Risk Management: Coordinating Corporate Investment and Financing Policies.** *Journal of Finance,* Volume 48, 5, pp. 1629-1658.

Gibson, W., 2009. ***Jet Fuel Hedging Strategies for the Department of Defense Through use of Financial Derivatives,*** Wright-Patterson AFB: Air Force Institute of Technology.

Hull, J. C., 2009. ***Options, Futures and other Derivatives.*** 7 ed. s.l.:Pearsen Education International.

Knapp, J., 2008. ***Should the Department of Defense Hedge Oil Prices In Order To Save Money?,*** Monterey, California: Naval Professional School.

Morrell, P. & Swan, W., 2006**. Airline Jet Fuel Hedging: Theory and Practice.** *Transport Reviews,* Volume 26, 6, p. 713–730.

Nance, D., Smith, C. & Smithson, C., 1993. **On the Determinants of Corporate Hedging.** *Journal of Finance,* Volume 48, 1, pp. 267-284.

Ross, S., Westerfield, R., Jaffe, J. & Jordan, B., 2008. ***Modern Financial Management.*** 8 ed. s.l.:McGraw-Hill .

Spinetta, L., 2004. **Fuel Hedging. Lessons from the Air Lines.** *Air Force Journal of Logistics,* Volume 30, 3, pp. 32-39.

Stulz, R., 2004. **Should We Fear Derivatives?**. *Journal of Economic Perspectives,* Volume 18, 3, p. 173–192.

Um Modelo de Gestão Logística para a Força Aérea no Âmbito das Missões NATO

Autora: Carla Santos, Tenente Aluna do Mestrado em Aeronáutica Militar na Especialidade de Administração Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientadora: Professora Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão
Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa

Co-orientador: Tenente-Coronel Jorge Maciel Soares Pimentel
Direção de Ensino, Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Resumo: Neste trabalho de projeto, a logística da Força Aérea Portuguesa (FA) foi estudada como um conjunto de processos que permitiu, o desenho de um sistema logístico com o objetivo de minimizar os custos logísticos, respeitando as restrições. Foram entrevistadas entidades da FA para estudo das metodologias processuais de planeamento de uma missão da NATO e dos fatores de planeamento associados. Posteriormente, foi construído um Modelo de Gestão Logística para responder às seguintes questões: i) tipos/características de missões NATO nas quais Portugal pode participar; ii) fatores de planeamento que devem ser considerados na elaboração de um Plano Logístico para estas missões; iii) disponibilidade dos meios da FA; iv) meios envolvidos nas diversas missões; v) quantidades/custos empregues; vi) custos por missão e custos totais; vii) capacidades partilhadas segundo regras de colaboração. Através da metodologia definida por Hillier & Lieberman (2010), para construção de modelos de programação linear, foi desenvolvido um modelo de otimização, cujo objetivo é a minimização dos custos. A solução ótima representa as missões que a FA poderá executar, anualmente, ao menor custo possível, de acordo com as restrições operacionais, logísticas e orçamentais.

Palavras-chave: Logística, Força Aérea Portuguesa, investigação operacional, afetação de recursos, programação linear inteira.

1. INTRODUÇÃO

A evolução histórica determinou a variedade de definições que existem para o conceito de logística. Uma das mais usadas diz que logística é:

"O processo estratégico de planeamento, implementação e controlo dos fluxos de materiais / produtos, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem ao destino, de acordo com as necessidades dos elementos a serem servidos pelo sistema logístico em causa. É estratégico porque, acrescenta valor, permite diferenciação, cria vantagem competitiva, aumenta a produtividade e a eficiência da organização."

In Crespo de Carvalho (Carvalho, 2002).

Muitos dos processos da Força Aérea (FA) enquadram-se neste modelo logístico, devido às especificidades que os caracterizam. Cada missão que se realiza deve ser planeada, executada e controlada, desde o momento em que a FA se propõem à sua realização, até ao momento em que é plenamente executada, de acordo com as necessidades identificadas. Estas missões são propostas por diferentes organizações (NATO, ONU, UE) com beneficiários (países onde as missões são executadas) também distintos, relacionando, por isso, um vasto conjunto de entidades.

O presente estudo é direcionado às missões da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) em que a FA participou ou esteve envolvida, assumindo assim, uma dimensão temporal e espacial. São estudadas aquelas que se caracterizam pela elevada amplitude em termos de projeção de meios humanos, materiais e financeiros. O Modelo de Gestão Logística visa a racionalização e o controlo dos três tipos de meios fundamentais, nomeadamente meios: i) humanos; ii) materiais e iii) financeiros, proporcionando uma afetação ótima destes às missões, minimizando os custos.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO E OPERACIONAL

2.1 Logística

"Mudam-se os tempos, mudam-se os costumes" e as organizações adaptam-se. A Logística começou por ser um conceito associado aos militares, àquele que governa, gere e manda. Uma arte de gestão da movimentação e abastecimento das tropas em missão. Atualmente, este conceito é muito vasto e engloba diversas áreas.

Segundo João Crespo de Carvalho, *"O conceito de produto/serviço certo, no local certo, no tempo certo, inicialmente desenvolvido em termos militares, facilmente transitou para o mundo empresarial, tendo sido adotado, na sua génese, com a perspetiva de movimentar e coordenar o ciclo de produtos finais (distribuição física) para, com o passar do tempo, ultrapassar esse âmbito e se estender a montante e a jusante da empresa, assumindo novas exigências, devidas a várias causas, entre elas, o aumento das pressões dos vários mercados."*

In Crespo de Carvalho (Carvalho, 2008).

No âmbito do presente trabalho, refira-se que, em 2006, a NATO definiu logística como *"a ciência de planear e executar o movimento e manutenção das forças"* (NATO, 2006), identificando as seguintes áreas logísticas, já definidas em 2003: a) Desenho e desenvolvimento, aquisição, armazenamento, transporte, distribuição, manutenção, evacuação e eliminação de material; b) Transporte de pessoal; c) Aquisição, construção, manutenção, operação e disposição de instalações; d) Aquisição ou prestação de serviços; e) Apoio médico e serviços de saúde (NATO, 2003).

2.2 Modelo de Gestão Logístico - NATO

A *Allied Joint Logistic Doctrine* (NATO, 2003) estabelece também um conjunto de regras estandardizadas que permitem às nações NATO a realização de missões de diversas naturezas, de forma conjunta e combinada. O empenhamento das Forças Armadas (FAA) pode envolver os vários Ramos (conjunto) e/ou diversas nações da NATO (combinado). Os conceitos de suporte logístico têm em consideração alguns factos de relevo com o objetivo de conseguir prever todas as situações e assim conseguir responder de forma eficaz e eficiente. A doutrina de suporte da NATO baseia-se na condução de operações logísticas multinacionais que servem o comando NATO na execução das missões definidas. A doutrina descrita no AJP-4 (A) aplica-se quer a missões do espectro NATO, quer às realizadas em cooperação com nações que não lhe pertencem (missões NATO, UN, União Europeia, Organization for Security and Co-operation in Europe, nações não-NATO). Esta doutrina define também as áreas a acautelar para um bom planeamento logístico, como sendo: fornecimento e serviços, manutenção e reparação, movimento e transporte, infraestruturas, apoio médico, contratações e financiamento. Assim, este é o conjunto de fatores de planeamento a considerar com impacto direto no custo de uma missão.

O suporte logístico é dado pela nação às suas forças, sendo que também podem existir acordos de entreajuda. Moreira (Moreira, 2011) afirmou que:

"Os constrangimentos atuais aceleraram a necessidade de priorização na utilização dos meios. O Pooling & Sharing (P&S) assume grande importância num ambiente de austeridade, melhora a cooperação e promove iniciativas da multiplicação de meios de forma que não soneguem autoridade ou poder soberano."

O mesmo se aplica no caso da NATO através do conceito de *Smart Defense (*"defesa inteligente"). Em documentos oficiais do EMGFA (Moreira, 2011) é referido que, "d*ado o elevado volume de combustíveis, sobressalentes, armamento (…) normalmente necessário ao apoio às operações aéreas em operações conjuntas, para além do apoio orgânico, é sempre de considerar a utilização de recursos comuns."*. A esta ideia chama-se *Smart Defense*, que segue a iniciativa da União Europeia de *Pooling and Sharing* (P&S -"juntar e partilhar"): partilha de capacidades, agregação de capacidades (cooperação integrada e organizada) e relações de cooperação (desenvolvimento de capacidades). Trata-se de uma *"partilha do fardo financeiro e operacional de cada Estado Membro"* (Ramos, 2012). Moreira (Moreira, 2011) afirma, com base nas conclusões parcelares de estudos do Centro de Estudos *EuroDefense* – Portugal, que a aplicação deste conceito pode proporcionar ganhos ao nível da eficiência económica (42%), eficácia operacional (50%) e um aumento das capacidades através de multiplicadores de forças (22%).Para evitar duplicações também existe colaboração e cooperação entre os Ramos, designada por *Role Specialist Nation* (RSN), devendo uma tarefa ser executada pelo Ramo que a execute de forma mais eficiente.

O desenvolvimento de um planeamento logístico necessita do seguimento de normas doutrinárias, que se traduzem num plano final de regras de empenhamento. No início do processo de geração de forças são definidas, por concertação multilateral, as possíveis contribuições de cada nação que, por sua vez, irão influenciar o respetivo nível de empenhamento logístico e de forças. O processo de planeamento constitui-se, como definido no AJP-4 (A), de acordo com as etapas: análise da missão, identificação e caracterização dos fatores de planeamento logístico, identificação das fontes dos requisitos logísticos ao nível da Área Conjunta de Operação (JOA), determinação das deficiências logísticas.

Como é referido no AJP-4.6 (A) (NATO, 2003), não existindo um conceito genérico que englobe todas as operações logísticas, a NATO aplicará métodos diferentes por forma a conseguir uma gestão adequada a cada tipo de recurso/meio. Assim, o Processo de Planeamento Operacional (OPP) de cada missão determina os requisitos logísticos e o tipo de comando logístico.

Em relação às áreas funcionais logísticas, existem várias considerações a ser feitas. A abordagem adotada neste trabalho é a necessária à compreensão da definição do tipo de recursos estudados pelo modelo que se pretende desenvolver. Refira-se que cada uma destas áreas é explorada em diversos documentos de estandardização da NATO. Para uma boa gestão logística, deve ser planeado: movimentos/transporte de/para o TO; apoio médico; cooperação entre *Host Nation* (HN) e *Sending Natio*n (SN); infraestruturas; contratações e financiamentos; contribuições de nações não-NATO; fornecimento e serviços; manutenção e reparação.

As missões fora do âmbito do art.5º devem seguir o estabelecido pelo AJP-4 (A) descriminado como "*Common Funding Eligibility*". Alguns investimentos em atividades têm como origem as nações participantes, enquanto outros tem o *NATO Security Investment Program* (NSIP). No entanto, a gestão de custos segue o princípio *"cost lie where they fall",* ou seja, as nações devem absorver os custos relacionados com as participações em operações NATO desta natureza,

como estabelecido pelo *North Atlantic Council* (NAC). Os acordos bilaterais/multilaterais não devem ser impedidos por esta política.

Desde 2007 (A FA executa este tipo de missões há mais tempo, mas só desde 2007 é que estas atividades foram incluídas no Anuário Estatístico da Defesa Nacional), a FA tem participado em várias missões que podem ou não prolongar-se no tempo e cuja natureza também pode alterar-se. Destas participações importa destacar os dados quantitativos que mostram a importância e relevância do controlo adequado dos meios envolvidos. Em 2011 a FA participou nas missões: ISAF, ACTIVE ENDEAVOUR, KFOR e OCEAN SHIELD.

2.3 Apoio Logístico

A doutrina logística militar nacional segue as diretivas do AJP-4 (A), *"aproveitando a essência dos conceitos mas com as ressalvas convenientes no que respeita à sua adaptação"* (EMGFA, 2004). Os princípios que regem a doutrina são simples e básicos, por forma a permitir um enquadramento fácil das forças no TO. Entre estes estão: a cooperação e coordenação, usadas na *Smart Defense*, e a "antecipação" (previsão que deve ser considerada no planeamento) e economia que estão na origem da procura de novas formas de eficiência. Com a participação das forças portuguesas em diversos ambientes operacionais, tornou-se essencial o planeamento quanto às dificuldades no TO, como por exemplo, infraestruturas, movimentações muito longas, climas e terrenos difíceis. O conceito de apoio logístico da componente aérea evidencia a necessidade de especial consideração pelas forças aéreas, devido às estruturas de apoio e sistemas de defesa aérea que os meios aéreos necessitam.

2.4 Planeamento Operacional

O "poder aéreo", como conceito, nasceu com o primeiro voo dos Irmãos Wright em 1903. Em 1949, Wiston Churchill, afirmou *"Para o bem ou para o mal, a expressão máxima do poder militar é o controlo dos céus!"* Segundo o Manual de Doutrina Básica da FA, o poder aéreo é a "*potencialidade de combate ou poder de fogo que se traduz em meios aéreos de combate e de apoio imediato"*, cujas características e capacidades são: velocidade, alcance, manobrabilidade, flexibilidade, precisão, presença, mobilidade, resposta e concentração (FA, 1982). O poder aéreo é concretizado se o conceito de emprego dos meios aéreos estiver associado à afetação ótima dos recursos e ao planeamento atempado e adequado dos seguintes fatores: extensão da estandardização dos processos de execução entre as nações participantes; localização dos principais meios a utilizar que determinarão a dimensão do suporte logístico necessário; suporte logístico dado pela HN; tipo de envolvimento das agências de suporte logístico da NATO e, por fim, os acordos celebrados entre as SN para a projeção e sustentação das unidades aéreas.

Todo este processo segue um conjunto de ciclos complexos de troca de informação e constitui-se como apoio na escolha das missões que anualmente devem ser executadas. O processo inicia-se com as escolhas do poder político, representado no MDN que, em coordenação com o EMGFA, determina quais as missões e quais os meios a ser empenhados nos diversos TO. De entre as várias opções de empenhamento – *Military Response Options* – é escolhida a forma como os diferentes Ramos participam, com base em *"pareceres operacionais,*

táticos e financeiros” (Nascimento, 2012). *“Mais tarde estes pareceres serão completados, ou corrigidos, de acordo com os dados situacionais, condicionalismos operacionais e informações recolhidas na visita Site Survey.”* (Santos, 2012a). Segundo Correia (Correia, 2012) para a realização da *Site Survey* é definida uma equipa de diferentes especialidades, que se desloca ao TO, para avaliar componentes determinantes na escolha das pessoas e materiais a enviar e dos serviços a contratar. A equipa a destacar depende: do tipo de missão, do nível de ameaça, de informações obtidas de outras *Site Survey’s* sobre o mesmo TO e do apoio disponibilizado pela HN. E como corroborou Santos (Santos, 2012b), os objetivos são: avaliar as condições do TO identificando falhas, deficiências e inexistências; estabelecer contactos e acordos com as autoridades locais, fornecedores de serviços e/ou forças aliadas e formalizar estes contactos e acordos na *Joint Implementation Arrangement* (JIA) caso sejam efetivados. Na definição dos requisitos operacionais é, também, utilizada informação de experiências anteriores, de relatórios de *Site Survey’s* de missões semelhantes, de dados disponibilizados por países que já operaram no TO em avaliação, da NATO e até da Internet. A componente logística desta fase de planeamento é constituída pela avaliação dos seguintes parâmetros: *technical working area facilities; fuels, lubricants & other products, aircraft ground equipment, ammunition and weapons, admin. equipment and materiel; support vehicles and facilities* (FA, 2010). Após a *Site Survey,* ajustam-se os fatores de planeamento e dá-se início à missão através de uma – Ordem de Operações – com todas as indicações necessárias para as entidades que participaram. Os fatores de planeamento conduzem às variáveis e parâmetros do modelo de gestão logística proposto no terceiro capítulo.

O planeamento de uma missão obedece a um conjunto ordenado de fases: 1) Aprontamento, constituído pela calendarização das atividades; identificação dos militares a destacar; aprontamento médico-sanitário; levantamento de necessidades relativas a fardamento, material, equipamentos e viaturas; disponibilização de armamento e equipamento individual; preparação específica (individual/coletiva) dos militares; preparação de proposta de projeção da força e da transferência de autoridade; plano de movimento. 2) Projeção/Instalação. 3) Execução da missão/Sustentação. 4) Retração, ou seja, movimento de retorno do destacamento.

2.5 Tomada de decisão

No processo de tomada de decisão verifica-se que existem alguns ciclos entre EMGFA-EMFA e EMFA-CA. Estes dizem respeito à avaliação da proposta orçamental, constituída pelas rubricas que a FA considera relevantes para o cálculo de custos, para execução das missões (Branco, 2012a). Como referido por Rosado (Rosado, 2012), as propostas são aceites, ou não, segundo critérios de razoabilidade. Depois de compilados os orçamentos dos diferentes Ramos, são verificados os gastos para tarefas semelhantes e, caso existam diferenças, são avaliadas as respetivas razões explicativas. O Ramo mais eficiente na execução de uma tarefa numa missão, ou seja, com custos mais reduzidos, pode ser o indicado como seu responsável único.

Deveria ser possível criar vários cenários para modalidades de ação e várias versões preliminares do orçamento. O dispêndio de tempo, nestes ciclos, poderia ser reduzido utilizando uma ferramenta que permita, variando alguns fatores, prever os custos totais de missões. A

ferramenta que aqui se propõe permite, como se verá, em certas situações, identificar os parâmetros que devem ser considerados, ou seja, cuja oscilação influencia mais o custo total. Os custos unitários utilizados para elaboração do orçamento são uma estimativa do custo efetivo de uma missão, obtidos de: *"dados históricos, relatórios de missão, informações disponibilizadas pela NATO ou até mesmo na internet"* (Henrique, 2012).

Em relação aos meios financeiros, o EMGFA tem inicialmente um montante definido para o que é permitido utilizar em cada missão (Branco, 2012). No entanto, solicita sempre aos diferentes Ramos um planeamento orçamental. O montante, definido inicialmente, pode ser alterado (diminuído ou aumentado) consoante diretivas políticas, influenciando de forma crítica a participação da FA. O orçamento é elaborado com base nas necessidades e disponibilidades logísticas (definidas em 3.2). Estas, embora variando com o tipo de aeronave, podem considerar-se como necessidades comuns: apoio ao comando e controlo; estação de apoio em terra; controlo de tráfego aéreo; meteorologia; informações; meios para identificação/eliminação de guerra eletrónica; defesa nuclear, biológica, química e radiológica; proteção da força; comunicações; infraestruturas; sistemas de informação.

3. MODELO DE GESTÃO LOGÍSTICA

3.1 Problema em estudo

Após as primeiras entrevistas, foi possível verificar que a FA poderá beneficiar de um modelo que ajude a dar resposta às seguintes questões: i) tipos/características de missões NATO nas quais Portugal pode participar; ii) fatores de planeamento que devem ser considerados na elaboração de um Plano Logístico para estas missões; iii) meios envolvidos nas diversas missões; iv) disponibilidade dos meios da FA; v) quantidades empregues; vi) custos por missão e custos totais; vii) capacidades partilhadas segundo as regras de colaboração definidas em reuniões de *Smart Defense*.

Com a pesquisa verificou-se um problema de classificação e organização de fatores de planeamento, decidindo-se adotar as regras definidas pela NATO sobre esta matéria, estabelecidas no AJP 4.3 (NATO, 2002). Por forma a tentar minimizar as discrepâncias entre a organização de fatores apresentada no modelo e aquela que realmente é utilizada pela FA ou pela NATO, tentou-se agrupar os fatores. Em projetos de estudo seguintes, outros fatores relacionados com a procura ou oferta poderão ser acrescentados ao modelo, através do desagrupamento dos conjuntos criados. Como referido em 2.1 (Logística), segundo diretivas NATO, a logística pode ser dividida em áreas, e assim, todos os fatores de planeamento podem ser agrupados segundo estas áreas e/ou agrupados, também, segundo as fases de missão.

No AJP 4.3 é também referido que as nações devem adotar soluções logísticas de cooperação, para todo o tipo de operações, sempre que possível. A cooperação advém da procura constante de soluções segundo o conceito de *Smart Defense*. As mais propensas a relações de cooperação são: controlo de movimentos no TO; linhas de comunicação, distribuição no TO e intra-TO; gestão de portos de desembarque; transporte aéreo; rações

e água; combustíveis e gases; serviços médicos; material de construção; munições; suporte *Ground Based Air Defense* (GBDA); contratações; rastreamento de ativos; utilização/operação comum multinacional de bases aéreas; e eliminação de resíduos perigosos. No entanto, as relações de cooperação sob o conceito de *Smart Defense* devem ser utilizadas com cautela pois, como afirmou o CEMGFA,

"Existem instrumentos de ação críticos que devem ser preservados no estrito domínio nacional, nomeadamente: vigilância e controlo do espaço aéreo nacional; patrulhamento do espaço interterritorial; busca e salvamento; ensino e treino básico; apoio médico nacional e capacidade de reação autónoma na defesa do cidadão." (Araújo, 2011).

3.2 Meios e Necessidades

Segundo a LOFA, os meios da FA são as unidades aéreas constituídas por *"conjuntos integrados de pessoal, de aeronaves, de material e de equipamentos"* (LOFA, 2009). Para a realização da missão das FAA *"o Estado pode determinar a utilização dos recursos materiais e humanos indispensáveis à defesa nacional mediante mobilização e requisição"*. Pode-se, então, definir que estes recursos podem ser financeiros, materiais ou humanos. Na FA a administração destes recursos está a cargo de Comandos ou Direções, a que compete *"a execução dos planos e diretivas aprovados pelo CEMFA"*. Algumas missões são apenas de apoio aos outros Ramos, como é o caso das missões ISAF2 e KFOR. Nestas, a FA apenas realiza voos de sustentação, ou seja, são missões de *"apoio integrado a outros Ramos podendo dispor, estruturalmente, de elementos e recursos dos Ramos apoiados."* . Os recursos a utilizar neste tipo de missões são bastante reduzidos.

Neste contexto tem-se então, os meios aéreos (concretizados em horas de voo e número de aeronaves disponíveis para voar), humanos, materiais e financeiros, que podem ser projetáveis por um período de tempo correspondente à duração da missão. Os meios aéreos são um recurso material com especificidades únicas que dificultam o seu controle, justificando-se assim, serem considerados individualmente.

Através da informação obtida e da consolidação das várias funções logísticas foi elaborada uma divisão em 5 áreas consideradas no modelo: pessoal, material, infraestruturas, serviços e apoio médico. A cada uma foram associados os vários fatores de planeamento, relacionando-os com áreas e funções logísticas e capacidades ou tarefas, que podem ser partilhadas através da *Smart Defense.*

3.3 Preponderantes

A definição do modelo exige a organização dos dados tendo em atenção algumas regras e restrições operacionais, que foram consideradas no modelo. Estas condicionantes são importantes na fase inicial de planeamento, porque influenciam quantidades. Preponderantes: o tipo de aeronave depende do tipo de tarefas operacionais da missão; as necessidades logísticas, agregadas ao meio aéreo envolvido, variam com a duração das missões; o número de tripulantes depende do tipo de aeronave e da duração/tipo de missão; o material contencioso não pode ser transportado em conjunto com pessoas; quando os meios humanos e materiais

são transportados por meios aéreos da FA, deve ser feito o ajustamento das quantidades e pesos a transportar às capacidades das aeronaves; existe um limite de horas de voo, por aeronave, por ano, que deve ser respeitado; o tipo de instalações necessárias no TO depende da aeronave, do número de pessoas e da duração da missão; a aeronave e o tipo de missão determinam os serviços a contratar; determinadas missões exigem formação específica mínima dos recursos humanos envolvidos; algumas tarefas podem ser da responsabilidade exclusiva de outro país ou Ramo, não imputando custos à FA; os custos são calculados de acordo com as fórmulas definidas em documentação própria da FA.

3.4 Modelo - metodologia

Cada vez mais surgem problemas, relacionados e derivados da complexidade e especialização das organizações, que dificultam a afetação eficiente dos recursos disponíveis às várias atividades (Hillier *et al,* 2010). Este tipo de questões fez surgir a investigação operacional. O desenvolvimento da ciência, chamada de *"investigação operacional", é* normalmente atribuído aos serviços militares aquando da II Guerra Mundial. Verifica-se, pois, a aplicação deste método científico a problemas de natureza militar. Aliás, as equipas formadas na altura introduziram posteriormente este método, por volta dos anos 50, em empresas civis, na indústria e até no governo. A investigação operacional pode ser encarada como uma técnica crucial no apoio à gestão, baseando-se em métodos matemáticos para a resolução de problemas. A modelação de um sistema complexo leva a um aprofundamento das questões relacionadas com o próprio caso, permitindo, por exemplo, a identificação de processos internos (demonstrados nos fluxogramas de informação), de dados de parametrização necessários, bem como de soluções possíveis.

A metodologia utilizada neste trabalho segue as seguintes fases (Hillier *et al,* 2010).:

- <u>Definição do problema e recolha dos dados necessários</u>: identificação de objetivos, restrições, fluxos de informação, limitações de tempo; apuramento do *trade-off* entre benefícios e custos; identificação dos ciclos de tomada de decisão. A informação foi recolhida através de fontes primárias, isto é, entrevistas e documentos das FAA classificados e não classificados.
- <u>Formulação do modelo matemático que representa o problema</u>: o modelo pretende ser uma esquematização, tão representativa quanto possível, da realidade através de expressões matemáticas – *função objetivo* e *restrições* –, que envolvem *variáveis de decisão* e constantes – *parâmetros*. Da resolução do modelo obtêm-se valores para as *variáveis de decisão*, que maximizam ou minimizam a *função objetivo*, sujeitos a determinadas *restrições*. Este caso particular enquadra-se num modelo de programação linear inteira onde as funções matemáticas são lineares.
- <u>Desenvolvimento da ferramenta computacional que permita resolver o modelo</u>: ferramenta construída no *Excel – Risk Solver Platform (Frontline Solvers – Risk Solver Platform v12.0).* Inicialmente utilizou-se o suplemento *Solver* do *Excel*, no entanto, com o desenvolvimento do modelo foi necessário utilizar uma ferramenta mais potente e com mais funcionalidades que permitissem a resolução do modelo.
- <u>Teste do modelo:</u> introdução de dados de 2011 e observação dos resultados.

3.5 Formulação do modelo

A Programação Linear (PL) utiliza um modelo matemático para descrever um problema. Entre os problemas mais comummente resolvidos por este método, encontram-se os relacionados com a alocação de recursos escassos a atividades competitivas, como é o caso deste projeto. O objetivo final é encontrar a melhor forma de afetar os recursos disponíveis às missões, ao menor custo possível. Foi também escrito um modelo idêntico com outro objetivo: encontrar a melhor forma de afetar os recursos disponíveis às missões, por forma a realizar o maior número possível de missões num ano. A solução ótima é encontrada através de um modelo que representa a realidade com os dados que foram reunidos e utilizados.

Para formular o modelo de programação linear inteira tem-se,

(1) $i \in I = \{missões\} = \{Active\ Endeavour, ISAF1, ISAF2, KFOR, Ocean\ Shield\}$

(2) $j \in J = \{meios\} = \{\{aeronaves\}, \{meios\ humanos\}, \{cães\}, \{viaturas, material\}\}$

(3) $c_{ij} = custo\ de\ afetar\ um\ meio\ de\ tipo\ j$ à $missão\ i$

(4) $b_j = número\ de\ meios\ de\ tipo\ j\ disponíveis\ na\ FA$

(5) $m_{ij} = número\ mínimo\ de\ meios\ de\ tipo\ j\ necessários$ à $realização\ da\ missão\ i$

(6) $\alpha = número\ mínimo\ de\ missões\ a\ realizar\ anualmente$

(7) $\beta = montante\ anual\ disponível\ para\ todas\ as\ missões$

(8) $p_i = número\ de\ passageiros\ a\ transportar\ no\ C130\ na\ missão\ \mathrm{i}$

(9) $h_{ij} = número\ de\ horas\ de\ voo\ do\ meio\ de\ tipo\ j\ na\ missão\ i, j \in \{aeronaves\}$

(10) $H_j = número\ de\ horas\ de\ voo\ disponíveis\ na\ FA\ para\ j, j \in \{aeronaves\}$

(11) $C = capacidade, em\ número\ de\ pessoas, do\ C130$

(12) $M = constante\ suficientemente\ grande$

Pretende determinar-se valores para as variáveis de decisão, $\mathrm{x_{ij}}$ = número de meios de tipo j afetos à missão $\mathrm{i}, \ \forall\, \mathrm{i} \in \mathrm{I}, \mathrm{j} \in \mathrm{J}; \ \ \mathrm{y_i} = \begin{cases} 1 & \text{se faz a missão i} \\ 0 & \text{c. c.} \end{cases} \quad i \in I;$

$\mathrm{i}, \ \forall\, \mathrm{i} \in \mathrm{I}, \mathrm{j} \in \mathrm{J}; \ \ \mathrm{y_i} = \begin{cases} 1 & \text{se faz a missão i} \\ 0 & \text{c. c.} \end{cases} \quad i \in I;$

Com o objetivo de minimizar o custo total anual (em €), $\text{Min } Z = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} c_{ij}x_{ij}$.

(13)

Sujeito a:

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} c_{ij}x_{ij} \leq \beta \quad (13.1)$$

$$\sum_{i\in I} h_{ij}x_{ij} \leq H_j \quad \forall j \in \{\text{aeronaves}\} \quad (13.2)$$

$$\sum_{i\in I} y_i \geq \alpha \quad (13.3)$$

$$\sum_{i\in I} x_{ij} \leq b_j \quad \forall j \in J \quad (13.4)$$

$$\sum_{j\in J} x_{ij} \leq M y_i \quad \forall i \in I \quad (13.5)$$

$$m_{ij}\, y_i \leq x_{ij} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (13.6)$$

$$\left\lceil \frac{p_i}{C} \right\rceil w_i \leq x_{i,C130} \;;\; p_i w_i = p_i \;\; \forall i \in I \quad (13.7)$$

$$w_i \leq p_i \quad \forall i \in I \quad (13.8)$$

$$x_{ij} \geq 0,\; y_i, w_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (13.9)$$

Ou seja, por ordem de apresentação, as restrições são:

1) O custo total das missões não pode exceder o montante β que é definido anualmente;
2) O número total de horas gasto por aeronave não pode exceder o limite anual;
3) O total de missões a realizar no ano tem de ser superior a um mínimo α estabelecido;
4) O número de meios de tipo j a utilizar em todas as missões não pode exceder a disponibilidade $\mathbf{b_j}$ da FA;
5) Só são usados meios numa missão que se realize, ou seja, tal que $\mathbf{y_i = 1}$;
6) Exige-se a utilização de um certo número mínimo de meios de tipo j na missão i;
7) Notando que o número de passageiros a dividir pela capacidade da aeronave C130, representa o número mínimo de viagens a efetuar na missão $\mathbf{i}$, esta restrição garante que o número de C130 por missão é suficiente para o transporte dos passageiros. Utiliza-se o C130 se existirem passageiros para transportar;
8) Só é utilizado o C130 na missão $\mathbf{i}$ ($\mathbf{w_1 = 1}$) caso existam passageiros nessa missão, ou seja, se $\mathbf{p_i > 0}$.
9) Os valores encontrados para x_{ij} são não negativos e as variáveis de decisão y_i, w_i são binárias.

3.6 Resultados do Modelo

Uma das fases mais complexas de um modelo PLI é a da *"obtenção de estimativas credíveis para os parâmetros envolvidos"* (Humilhar *et al,* 2010). Como raramente estes são conhecidos com exatidão, importa conhecer o comportamento da solução ótima face a variações em alguns parâmetros. A análise de sensibilidade mede o impacto no valor ótimo de alterações discretas nos parâmetros do modelo. Assim, pode-se avaliar os coeficientes da função objetivo, os termos independentes e os coeficientes das restrições, e determinar quais aqueles que merecem maior atenção para evitar a distorção dos resultados do modelo. Com este modelo não é possível

efetuar este tipo de análise devido à utilização de variáveis binárias e inteiras.

O modelo construído destina-se a encontrar uma solução ótima para o problema da realização de missões NATO da FA. O controlo dos custos envolvidos e dos possíveis cenários pode aumentar a eficiência na gestão logística das missões. Após a formulação matemática do problema, é possível combinar os vários parâmetros com os requisitos operacionais e logísticos e analisar os resultados obtidos. Desta forma, podem obter-se diversos resultados e decidir qual a melhor opção. Este modelo é aplicável ao planeamento anual de missões, quando é necessário verificar quais as missões que não são realizáveis devido à falta de recursos.

O trabalho de preparação dos dados para o modelo permite obter a seguinte informação: tipos/características de missões NATO nas quais Portugal pode participar, fatores de planeamento considerados na elaboração de um Plano Logístico, capacidades partilhadas segundo as regras de colaboração definidas em reuniões de *Smart Defense* (que implicam custo zero para Portugal) e disponibilidade dos meios para missões NATO.

Como resultado do modelo obtemos a informação seguinte: meios envolvidos nas diversas missões, quantidades empregues e custos.

(1) $$\sum_{j \in J} c_{ij} \, x_{ij} \quad \forall \, i \in I$$ (Custo total por missão)

(2) $$\sum_{i \in I} c_{ij} \, x_{ij} \quad \forall \, j \in J$$ (Custo por fator)

Podemos variar os valores mínimos e obter cenários diferentes. Depois de construído o modelo, podemos concluir que, alterando a função objetivo, este pode também ser utilizado para um propósito diferente, ou seja, para maximizar o número de missões a efetuar num ano. Caso o C130 numa determinada missão não possa transportar passageiros com material contencioso então, o modelo pode, também, ser facilmente adaptado por alteração das restrições 6) e 7) do sistema para: $m_{iC130} \, y_i + \left\lceil \frac{p_1}{C} \right\rceil \, w_1 \leq x_{1,C130} \; ; \; p_1 w_1 = p_1 \quad \forall \, i \in I$.

4. CONCLUSÃO

"The only thing harder than getting a new idea into the military mind is to get an old one out."

B.H. Liddell Hart

Os objetivos iniciais deste trabalho foram alcançados com o enquadramento do modelo construído no meio operacional nas missões NATO, e a resolução de um problema de alocação eficiente de recursos a estas missões. O primeiro objetivo foi conseguido através das várias entrevistas a indivíduos relacionados diretamente com o planeamento das missões, e o segundo, com a construção de um modelo que desenvolvido com o objetivo de minimização de custos foi também adaptado a um modelo de maximização do número de missões a realizar. O estudo do problema permitiu apreender os processos relacionados com o planeamento e controle de

execução das missões NATO, demonstrados através dos vários fluxogramas traçados, onde se consegue uma ideia global do relacionamento de todas as tarefas e fatores logísticos de planeamento.

Segundo Jordan (Jordan *et al*, 2011), existem duas definições possíveis para controlo de gestão. Uma que relaciona a estimulação e motivação dos gestores com a procura dos objetivos estabelecidos e outra que prioriza o especto instrumental no controlo da gestão. Numa perspetiva de análise dos resultados alcançados, pode afirmar-se que a ferramenta de otimização conseguida enquadra-se no segundo ponto, por *"proporcionar a todos os responsáveis, os instrumentos para pilotar e tomar as decisões adequadas que assegurem o futuro"* da organização.

Numa organização sem fins lucrativos, como é o caso da FA, o objetivo principal poderá estar apenas relacionado com a realização das missões no menor espaço de tempo possível, ou seja, em conseguir realizar as tarefas de forma eficiente, mais rapidamente, onde *"less is more".* Com a oportunidade de se criarem diferentes cenários reduz-se substancialmente o tempo gasto nos ciclos de tomada de decisão aquando da aprovação do orçamento para as missões. A possibilidade de criação de vários cenários facilita, ainda, uma tomada de decisão rápida e mais fundamentada. Desta forma, consegue-se responder ao principal desafio da logística, ou seja, ter o produto certo, no momento certo, com a quantidade certa e no local certo ao mais baixo custo possível (Carvalho, 2002).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, L. E., "**Nota Introdutória," em *O impacto da crise Financeira na Defesa da Europa. Novas Iniciativas cooperativas - Poolong & Sharing: Desafios e Oportunidades para Portugal***, Lisboa, 2011.

Branco , V., Interviewee, *Planeamento e Orçamento da missões NATO da FA.* [Entrevista]. 28 Fevereiro 2012.

Carvalho J., Encantado L., "**Logística e negócio electrónico,**" 2008. [Online]. Available: http://www.spi.pt/p.publicacoes. [Acedido em Junho 2012].

Carvalho, J., **Logística**, 3ª ed., Lisboa: Edições Sílabo, 2002.

Correia, L., Interviewee, *Planeamento e Execução das missões NATO da FA.* [Entrevista]. 28 Março 2012.

EMGFA - **Direção de Recursos, Projecto das Bases Gerais par a Doutrina Logística Conjunta Nacionl (BG - DLC)**, Força Aérea Portuguesa, 2004.

FA Comando Aéreo, "**Relatório de Missão - Site Survey (SiSu) para a operação ATALANTA nas Seychelles**," 2010.

FA, **Manual de Doutrina Básica da Força Aérea**, Lisboa: FA, 1982.

Faro Ramos, L. O Impacto da Crise Financeira na Defesa da Europa. Novas Iniciativas Cooperativas - Pooling & Sharing: Desafios e Oportunidades para Portugal. Lisboa, Instituto de Defesa Nacional, 2012.

Henrique, H., Interviewee, *Modelo Financeiro das Forças Nacionais Destacadas.* [Entrevista]. 18 Abril 2012.

Hillier, F. S., e G. J. Lieberman**, Introduction to Operations Research**, 9th ed., New York: McGraw-Hill Publishing Company, 2010.

Jordan, H., J. C. d. Neves e J. A. Rodrigues**, O Controlo de Gestão ao serviço da estratégia e dos gestores,** 9ª ed., Lisboa: Áreas Editora, 2011.

LOFA, DR.138/09, **"Lei Orgânica da Froça Aérea (LOFA)**," *Diário da Républica 1ª série nº138,* 29 Julho 2009.

Moreira, L. D., “**Génese, desenvolvimento e clarificação de conceitos de Pooling & Sharing**,” em *Seminário O impacto da crise Financeira na Defesa da Europa. Novas Iniciativas cooperativas - Poolong & Sharing: Desafios e Oportunidades para Portugal*, Lisboa, 2011.

Nascimento, A., Interviewee, *Doutrina Militar Conjunta.* [Entrevista]. 15 Março 2012.

NATO (MAS), “**AJP-4(A) Allied Joint Logistic Doctrine**,” *Military Agency for Standarisation - Allied Joint Publication,* p. 78, Dezembro 2003.

NATO (NSA), “**AJP-4.6 (A) Multinational Joint Logistic Centre (MJLC) Doctrine**,” *Nato Standardization Agency - Allied Joint Publication,* Dezembro 2003.

NATO (NSA), “**ALP-4.3 Air Forces Logistic Doctrine and Procedures**,” *Nato Standardization Agency - Allied Joint Publication,* Maio 2002.

NATO, “**Logistics Support for NATO Operations**,” *Public Diplomacy Division - Backgrounde,* p. 12, Fevereiro 2006.

Rosado, J., Interviewee, *Planeamento e Orçamento da missões NATO da Força Aérea.* [Entrevista]. 28 Fevereiro 2012.

Santos, J., Interviewee, *Fatores de Planeamento das Missões NATO da FA.* [Entrevista]. 3 Maio 2012b.

Santos, J.**,** Interviewee, *Planeamento e Execução das missões NATO da FA.* [Entrevista]. 28 Março 2012a.

Sistema Económico Internacional: A atuação dos atores não estatais na crise internacional de 2008

Autor: David Luís, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado
na Especialidade de Pilotagem Aeronáutica
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientadora: Professora Doutora Carla Guapo Costa
Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, Universidade Técnica de Lisboa

Co-orientador: Major Luís Manuel Pinto de Almeida da Rocha
Centro de Estudo Aeronáuticos, Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Resumo: A presença frequente destes atores, que até hoje se desconhecia as suas influências, começa a ganhar espaço num mundo mais globalizado com alterações de cariz político, económico e social, resultante do aprofundamento das relações de interdependência entre diversos atores (estatais e não estatais).
A forma como se desenvolveu a engenharia financeira, através das tecnologias de informação e da desregulamentação, potencializou não só altas rentabilidades mas também uma maior complexidade do sistema financeiro. O método utilizado na maior parte das vezes foi a especulação aplicada a diversos produtos, graças à atuação livre dos agentes económicos, que abalou um mercado já fragilizado pela forma frenética de operação de uma geração de *traders,* que teve consequências ao nível macroeconómico.
Numa época predominantemente capitalista e interdependente em termos de mercado, dotada de um pensamento liberal, a comunidade internacional confronta-se com uma crise provocada pela falta de capacidade de endividamento particular (*subprime*) e, posteriormente, pública (crise das dívidas soberanas).

Palavras-chave: Globalização; Crise; Liberalismo; Atores; Mercados.

1. INTRODUÇÃO

A crescente globalização, associada a um mundo mais liberal, permitiu uma maior internacionalização dos fluxos de capitais, pondo em causa os Estados como principais atores no Sistema Internacional (SI).

O processo de globalização trouxe alterações de cariz económico. Resultantes do aprofundamento das relações de interdependência entre atores estatais e não estatais, caracteriza, deste modo, um cenário internacional cada vez mais integrado e interdependente. A intensificação deste processo proporcionou um aumento das interligações entre Estados, Organizações Internacionais (OI), Organizações Não Governamentais (ONG), empresas transnacionais e cidadãos, de tal forma que reorganizaram e conduziram à complexidade do SI. Quanto maior a integração comercial e financeira entre duas economias, maior é a probabilidade de contágio económico. Quanto maior a interdependência, maior o envolvimento dos Estados nos assuntos uns dos outros, ou seja, algo que aconteça num lugar pode afetar outro lugar e os seus residentes. Este comportamento, aliado às comunicações e transportes cada vez mais rápidos, favoreceu a porosidade das fronteiras, baixando assim o significado político económico destes limites definidos pelos Estados.

De acordo com a teoria económica neoliberal, a utilização de mercados abertos e livres, com pouca regulamentação e intervenção dos governos, em conjunto com a globalização, vem afirmar a descentralização do poder decisório do Estado nas RI e o fortalecimento dos novos atores internacionais. Num sistema não regulado de transações monetárias e de capital, a globalização mostra-se essencialmente económica (Maltez, 2002; Moreira, 2010). A evolução da globalização não só «reduziu o tamanho do mundo» como também aumentou ou acelerou os problemas da sociedade, extravasando "*o domínio restrito da economia, influenciando os domínios políticos e culturais*"(Gnesotto; Grevi, 2008, p.196).

A revolução dos mercados veio permitir um fluxo das bolsas de valores de todo o mundo, onde "*se pode pôr em causa empresas, moedas, Estados de todas as dimensões*" (Maltez, 2002, p.112).

2. CONTEXTO DA CRISE

Durante as primeiras evidências do início da crise do *subprime*, a regulação do mercado e a supervisão das instituições financeiras aparentavam ser o principal motivo para o surgimento desta situação, levando as instituições a terem na adaptação a um novo modelo económico. Negligenciando alguns fatores, tentou-se reduzir o impacto da crise com o mesmo recurso: reduzindo taxas de juro e expandindo o orçamento, "*sob a forma de consumo público adicional ou por abaixamento de impostos*" (Costa, 2010, p.62).

Com o banco central a baixar as taxas de juro, os ativos imobiliários tornam-se atrativos, dirigindo os investidores a apostar na formação de uma nova «bolha». As famílias (até então apenas as solváveis e com provas disso) que pretendem adquirir uma habitação, "*procuram o sistema financeiro que, rapidamente, lhes proporciona os meios necessários para realizar o seu desejo, gerando uma hipoteca, que seria vendida a outros investidores*" (Costa, 2010, p.63). Com os preços dos imóveis a subir, e as reduzidas taxas de juro que permitem um crédito fácil para a aquisição de imóveis, o mercado imobiliário tornou-se atraente, com investidores a adquirir as hipotecas das famílias, sempre com a convicção que o ativo mobiliário serviria como garantia no caso de incumprimento.

Novos instrumentos financeiros vieram facilitar a concessão de empréstimos duvidosos, sem qualquer pagamento inicial, com contas mensais acima do seu potencial de solvência sob determinadas condições, os quais receberam o nome de *subprime*. Assim, referimo-nos a um conjunto de empréstimos hipotecários (normalmente baixos e flexíveis) a cidadãos que, perante a concessão de crédito, não podem garantir o pagamento no futuro. A grande questão centra-se na dificuldade de previsão face à qualidade dos empréstimos concedidos. Esta crise, que começou por ser num "*sector muito específico (subprime), nos Estados Unidos da América, evolui, em efeito dominó, para o sistema bancário, tornando-se, depois, uma crise económica global, sendo hoje, essencialmente, uma crise de dívidas dos Estados soberanos, na Europa e não só*" (Feio; Carneiro, 2012, p.15).

Quando a confiança dos investidores se quebrou e os levou a efetivar as obrigações em dinheiro real, descobriu-se que estes e outros ativos classificados pelas agências de notação financeira, não tinham sustentação, levando a que os «ativos tóxicos» permanecessem na carteira dos bancos e empresas. (Camacho, 2012)

3. ATORES NÃO ESTATAIS

A configuração das RI permitiu a emergência de atores não estatais e mecanismos alternativos de associação e de gestão do poder, que passam a exercer notada importância no sistema-mundo. Segundo Dunne, Kurki e Smith, "*os idealistas eram guiados pelo desejo de criar um conjunto de instituições, procedimentos e práticas que pudessem erradicar, ou pelo menos controlar, os conflitos armados no sistema internacional*"[1] (2012, p.17). Esta teoria tenta explicar a importância

(1) Tradução do próprio em "*InternationalRelationsTheorie*"

das instituições no atual SI, questionando a validade do paradigma estatocêntrico e a limitação na sua abordagem.Estes argumentam que os Estados não são os únicos atores cujas políticas afetam o SI e que, cada vez mais, outros atores (OI e empresas transnacionais) começam a tomar decisões essenciais fora dos Estados-nação, podendo determinar a estrutura dos sistemas. Apesar do Estado representar "*a unidade dominante no sistema internacional contemporâneo, ele não fornece a base exclusiva para a governação*" (Dougherty; Pfaltzgraff, 2011, p.110).

Os atores não estatais, nomeadamente as agências de *rating*, surgiram no final do século XIX, oriundas da diminuição do poder estatal perante o processo de globalização, aumentando gradualmente a sua importância durante o século XX e tornando-se num dos principais intervenientes das relações no início do século XXI.

3.1 Agências de *rating*

As agências de *rating* têm vindo a expandirem e a assumirem uma natureza bem diferente da inicial. Estas empresas "*têm como função atribuir notações (avaliações) a certos tipos de obrigações de dívida, seja esta emitida por entidades públicas (…) ou entidades privadas*" (Feio; Carneiro, 2012, p.23). Desta forma, são empresas especializadas na avaliação da capacidade de pagamento de dívidas de determinadas entidades, "*considerando inúmeros factores, que incluem a capacidade financeira, os activos e a reputação do eminente, mas também as previsões económicas, o ciclo económico e ainda outros elementos, calculando, assim, o grau de risco para os investidores associado a cada crédito*" (*idem*, 2012, p. 23-24). Esta avaliação é depois utilizada por investidores de forma a saber o risco associado ao produto por emitentes. Apesar das várias polémicas sobre as ações das agências, estas têm um papel fundamental na análise de "*produtos extremamente complexos e estruturados, os quais exigem uma avaliação aprofundada e exaustiva*" (*idem*, 2012, p.24), simplificando e fornecendo informação fiável, de qualidade e de fácil compreensão.

Ao conceder aos produtos financeiros e às hipotecas *subprime* a classificação máxima, as agências de *rating* transformaram estes engenhos numa armadilha bancária (Camacho, 2012). Aquilo que elas medem é o grau de probabilidade de se cumprir as suas obrigações, através de um grande número de variáveis, «guardados nos segredos dos Deuses». Com o desenvolver da aquisição de *subprimes*, os juros começaram a aumentar. Consequentemente, não foi com admiração que se evidenciou um incumprimento generalizado. De forma a garantir a cobrança, os bancos promoveram uma estratégia de titularização dos créditos, agrupando vários ativos tóxicos financeiros (como empréstimos hipotecários), denominados de *Mortgage-Backed Securities* (MBS) que depois se transferiam para vários investidores. Estes diluíam o risco "*numa rede de derivados negociáveis no mercado financeiro internacional*" (Feio; Carneiro, 2012, p.43), "*sendo 60% considerados produtos AAA, pelas três principais Agências*" (*idem*, 2012, p.43) garantindo qualidade de investimento, de tal forma que impulsionaram a compra destes títulos. Quando se deu o colapso da cadeia, estes passaram a ser produtos extremamente tóxicos e perigosos. Esta classificação apresenta falhas, facto este confirmado pela manutenção do *rating* do LB até ao dia da sua falência. A questão que se põe a estas instituições é que não são responsabilizadas pelas suas más informações, "*protegidos pela liberdade de expressão referendada por uma emenda da Constituição dos Estados Unidos*" (Camacho, 2012, p.187).

De acordo com Feio e Carneiro, "*Com a crise da dívida soberana, na Europa passa-se um pouco o que, há 14 anos, aconteceu no Sudoeste Asiático: primeiro, uma incapacidade das Agências de Notação de preverem a crise e, depois uma reacção ultraconservadora e pró-cíclica que tem vindo a agravar a situação já de si difícil dos Estados Europeus*" (2012, p.46). Atualmente existem três agências (S&P; Fitch; Moody's), que têm sido significativamente referenciadas no contexto internacional, possuindo funções úteis na regulação no mercado, tornando a estrutura internacional de mercado oligopolista. A verdade é que estas três agências têm em sua posse a «bomba» mais poderosa do mundo: o corte de notação. Apesar disto, a incapacidade de previsão das agências tem vindo a falhar consecutivamente, acentuando apenas as crises e recuperações económicas. No entanto, "*as Agências consideram que não têm como função prever ou diagnosticar crises, limitando-se a analisar dados concretos e situações de facto*" (Feio; Carneiro, 2012, p.41). Na verdade, o sistema não oferece alternativas em termos de previsão e classificação de um determinado produto financeiro.

Uma das primeiras críticas às agências de notação financeira foi feita pelo próprio FMI, num relatório de 1998, onde considerou que as agências "*não só foram negligentes na previsão das vulnerabilidades dos Estados que viriam a ser afectados pela crise, mas que também responderam de forma lenta, procedendo a cortes de notação apenas depois do início da crise, agravando, assim, os juros e aumentando a instabilidade*" (*idem*, 2012, p.40). As agência, ao anunciarem as suas estimativas, previsões e notações, produzem um impacto no mercado.

Para o presidente do Banco Espírito Santo (BES), Ricardo Salgado, "*as agências de notação financeira estão a mover-se também "em termos políticos"*" **(Mota, 2011). Estas declarações derivam do facto da** S&P ter advertido 15 países do euro para possibilidade de corte de *rating* de forma a que durante a cimeira seja "*quebrado o padrão de medidas defensivas e fraccionadas que tem sido recorrente entre os líderes europeus*" (*idem*, 2011). Em consonância com Ricardo Salgado, Ewald Nowotny, membro do conselho do Banco Central Europeu, "*considera que a Standard &Poor's foi "politicamente motivada"(…). O 'timing' e o alcance desta advertência têm um claro contexto político – uma agência de rating entrou no palco político*"(Pedro, 2011b).

Consoante Carol Sirou, presidente da S&P France, e Jean-Michel Six, economista-chefe da S&P na Europa, refutam a teoria de que as agências fazem política, argumentando que não são elas que fazem os programas de austeridade e que a estrutura da União Europeia (UE) deixa muito a desejar (Pedro, 2012a).

3.2 Especuladores

Graças à especulação e às «bolhas» especulativas (defendidas por alguns especialistas na área como o principal elemento da crise), verificam-se o surgimento de um ator, até então desconhecido ou pouco ativo. Trata-se de um terrorismo sem rosto, um inimigo externo: os investidores especuladores. São um dos atores individuais que atuam segundo algumas regras e psicologias de mercado. São estes que irão influenciar a tendência de mercado, comprando, vendendo ou especulando sobre as dívidas de acordo com as notações expostas pelas agências, mas não só. Por norma, o pequeno ou médio investidor arrisca pequenas quantias na bolsa e lucra com diferenças momentâneas do preço. Estes mestres do mercado, "*para quem os valores da justiça e da honra parecem não contar*" (Maltez, 2002, p.142), são um dos

instrumentos das agências de *rating* no que toca a corrigir, aumentar ou diminuir as tendências dos ciclos, já que são estes que têm poder monetário para fazer oscilar o mercado. Desta forma, tanto os indivíduos como as agências podem considerar-se forças transnacionais. George Soros, especulador húngaro, conhecido por ter ganho avultados montantes com *HedgeFunds* que testaram a libra, afirma que os mercados financeiros "*reflectem a ignorância e os preconceitos, muitas vezes, irracionais, de milhões de investidores*" (Costa, 2010, p.40-41), de acordo com a sua «teoria da reflexividade».

Pode-se considerar que o investidor privado ou especulador só quer o melhor para si. Mas segundo o princípio da «mão invisível» de Adam Smith (1776), "*cada indivíduo, prosseguindo apenas, egoisticamente, o seu interesse pessoal, é levado, como que por uma mão invisível, a realizar o melhor para todos*" (Samuelson; Nordhaus, 1988, p.55). Somos levados a pensar que é desejável o não intervencionismo do Estado. Contudo, o mercado tem apresentado falhas, nomeadamente a ausência da concorrência perfeita e a existência de externalidade. Vistos apenas como causadores que conduziram à crise, eles (os especuladores) são também os batedores do investidor comum que, "*a coberto da respeitabilidade, aposta também na subida e descida dos preços. Ao atacarem a Grécia e o euro, os mercado enviam uma mensagem importante – e salutar – aos políticos: o défice orçamental tornou-se incontrolável. Deste ponto de vista, eles desempenham um papel útil à sua maneira*"(Roche, 2012, p.34).

Apesar dos meios de informação, que estão praticamente ao acesso de qualquer cidadão, a especulação não é exercida pelos assalariados ou pequenos proprietários. Como nos clarifica Kahn, "*Apenas têm meios para a praticar (e não se privam disso) os donos dos bancos e dos «trusts»"* (1973, p.236), que passam com extrema facilidade de uma moeda para a outra os seus bens líquidos, ridicularizando as fronteiras dos Estados. Ao contrário dos pequenos investidores, as instituições financeiras fazem o mesmo mas em grande escala e com «jogadas» garantidas graças à informação que corre num grupo restrito de sócios. Não é mais do que uma "*sucessão de judiciosos investimentos, com conhecimento de causa. Os homens de negócios, aliás, não falam em especular, mas em «precaverem-se». O que é desordem para a sociedade é sabedoria pessoal para o detentor do (grande) capital*" (Kahn, 1973, p.237-238).

Seria de esperar, tal como refere Waltz (2011), que a estabilidade fosse desejada pelas empresas para a sua sobrevivência. Ao contrário daquilo que se possa pensar, a volatilidade e destabilização dos mercados internacionais permite obter enormes lucros nas variações maciças dos mesmos. Nos dias que correm, a psicologia do mercado é, talvez, o que faz mais variar as cotações. Baseada em linhas de tendência, linhas de suporte, *Fibonacci Retracemente*, entre muitas outras formas de análise técnica e matemática, é um dos grandes responsáveis por alguma da volatilidade, pois existe um nicho de *traders* que segue esta estratégia. Estas alterações de preços devem-se também a uma série de fatores, tais como: indicadores económicos, intervenções políticas, recursos energéticos e minerais, manobras militares, entre outros.

A especulação é favorecida principalmente pelas perturbações monetárias. No entanto, esta pode ser praticada "*com tudo o que se possa comprar ou vender*" (Kahn, 1973, 1973, p.237). Num mercado onde existe um fluxo de 95% das divisas, que se prendem com atividades meramente especulativas, os operadores económicos vêem-se numa situação de grande incerteza quanto à evolução dos câmbios. As atividades clássicas comerciais são hoje em dia ultraminoritárias, sendo o volume de câmbio 50 vezes maior do que o do comércio mundial de bens e serviços

(Boniface, 2008; Andreff *apud* Maltez, 2002). A atividade especulativa neste mercado singular permitiu aos "*três primeiros fundos de pensões norte-americanos - a Fidelity Investments, o Vanguard Group e o Capital & Research & Management – chegaram a mobilizar cerca de 10 vezes mais dólares do que os conseguidos em Dezembro de 1994 pelo Departamento do Tesouro norte-americano, o Banco Mundial e o FMI, quando procuraram sustentar o valor da moeda mexicana*" (Maltez, 2002, p.142). No entanto, "*a ONU disse que a grande volatilidade nos mercados de divisas e o conflito entre as grandes economias pelas políticas que afetam as taxas de câmbio são uma séria ameaça ao crescimento*" (Camacho, 2012, p.254). Não se pode deixar iludir pela crise e dizer que o sistema bancário não é necessário. Como explica Jacques Attali, as instituições e os mercados financeiros "*Permitem transferir, em princípio sem roubo nem espoliação, mediante uma remuneração, sob a forma de juro ou de dividendo, as poupanças daqueles que são capazes de melhor as utilizar*"(2009, p.113).Um outro facto virtuoso impõe-se: "*a especulação tão desacreditada é também um elemento importante do bom funcionamento dos mercados, melhorando a sua liquidez e a sua fluidez, facilitando as transações e assegurando uma melhor transparência dos preços. Esta atividade contribui, além disso, para melhor repartir o capital*" (Roche, 2012, p.34).

4. REGULAÇÃO DO SETOR FINANCEIRO

A publicação de regulamentação costuma estar associada à correção das falhas de mercado, como é o caso dos monopólios, a promoção de um serviço universal a um preço razoável ou ao impedimento do alastramento de uma crise. Devido à extrema volatilidade sentida nos mercados, a comissão de mercados espanhol proibiu "*a prática de* "*short selling" sobre todas as cotadas por três meses. Quer isto dizer que não será possível tirar partido da desvalorização das acções*" (Cavaleiro, 2012) tendo inclusive a Bélgica e França aderido a este comportamento. A Itália também o fez, mas só sobre as cotadas do setor financeiro (bancos e seguradoras) e durante apenas uma semana. Para a Comissão do Mercado de Valores Mobiliários (CMVM), esta "*prática não deve ser banida, por considerar que ela contribui para o funcionamento eficiente dos mercados. Em Portugal é proibido recorrer à prática de "naked short selling", que acaba por consistir na mesma posição de "short selling" apenas destacando-se o facto de o investidor não precisar de ter as acções que vende*" (*idem*, 2012). A 1 de novembro de 2012, as instituições europeias proibiram este tipo de transação no mercado europeu, seguindo o exemplo português (Paula, 2012). No seguimento do que se tem vindo a falar, o PE aprovou um regulamento com vista a limitar a especulação sobre a dívida soberana. Segundo o eurodeputado francês Pascal Canfin, "*Estas regras provam que a UE pode agir contra a especulação quando existe vontade política. Este regulamento fará com que seja impossível comprar CDS com o único intuito de especular sobre o incumprimento de um país*" (Económico; Lusa, 2011b).

Mas as alterações à regulamentação não ficam por aqui: também as agências de *rating* tiveram direito a novas regras. Numa tentativa de regular e conter a influência destes organismos, a CE avançou com uma legislação que possibilita as agências de "*incorrerem em responsabilidades civis caso infrinjam a regulação aplicável*" (Silva; Rego, 2011). De forma a combater a dependência e confiança excessiva do mercado, entre outras medidas, foram impostos limites à quantidade

de ações que um investidor podia obter no caso de ser acionista de outras agências, bem como tempos definidos às alterações de notações com os seus relatórios respetivos e ainda regras no que diz respeito à classificação de entidades e respetivos produtos. A *European Securities and Markets Authority (*ESMA), a autoridade europeia reguladora do mercado de capitais, detém ainda a autoridade para banir temporariamente o *rating* em situações previamente determinadas (Rego; Silva, 2011).

No seguimento de proteger o sistema, os Estados não ficaram atrás. A senadora norte-americana Maria Cantwell, democrata do Estado de Washington, é um dos políticos que pretende a reinstalação da lei de 1933 (*Glass-Steagall Act*) como forma de combate à crise financeira e que fora revogada a uma década atrás pela influência de várias instituições bancárias e de seguros. O objetivo seria voltar ao modelo convencional bancário e deixar a gestão do risco para outros (Vekshin, 2009).

5. NOVA RELAÇÃO ENTRE OS ESTADOS E ATORES NÃO ESTATAIS

As oscilações da atividade económica têm afetado os lucros empresariais e o bem estar da população. De modo a antecipar o comportamento dos mercados, os economistas têm feito previsões de forma a que empresas tomem ações antes de uma recessão ou os governos apliquem medidas monetárias ou fiscais com efeitos restritivos na economia, quando anteveem uma expansão especulatória. Este método permite assim ajudar a ajustar as suas ações às condições económicas (Samuelson; Nordhaus, 1988). Mas esta capacidade torna-se complexa, já que os ciclos económicos ocorrem sempre por motivos diferentes.

Os ciclos económicos podem, inclusive, ter maiores amplitudes, consoante a confiança. Esta característica desempenha um papel determinante na macroeconomia e na (des) estabilização das economias. Quando existe confiança nos mercados, as pessoas investem e a economia cresce. Com a crise da dívida soberana, os investidores refugiaram as suas poupanças em locais e entidades seguras, nomeadamente a Alemanha, que já conseguiu "*acumular uma poupança média de 13.038 milhões de euros, o equivalente a 159 euros por cada alemão ou 0,52% do PIB*[(2)] *do país*" (Leitão; Rego, 2011). Se existe uma descrença (muitas vezes devido a confiança ou défice excessivos) nos mercados, o oposto acontece. A desconfiança torna-se maior quando estamos perante Estados que não pertencem às economias reguladas pelas instituições internacionais erigidas pelos países desenvolvidos. A perda de confiança na crise do *subprime* "*levou os mercados a bloquear a concessão de crédito, já que os potenciais emprestadores têm receio de não recuperar o seu dinheiro*" (Costa, 2010, p.53). O acesso ao crédito torna-se mais difícil e o aumento da despesa pública até à redução de imposto tem um impacto muito menor comparado com a confiança. Este comportamento tanto pode conduzir à estabilização como a convulsões profundas no funcionamento das economias.

(2) Produto Interno Bruto

O sistema financeiro, caracterizado pela sua dinâmica e globalização, fomenta o empreendedorismo e a transferência de recursos entre agentes económicos. As transações financeiras não são mais do que uma promessa mútua que, neste sistema flexível e agilizador da distribuição de riqueza, podem não vir a ser cumpridas. O futuro incerto que esta realidade nos proporciona "*tende a ser maior quando as promessas transpõem fronteiras, ou quando os compromissos assumidos envolvem agentes de diferentes nacionalidades*" (*idem*, 2010, p.29). Neste contexto, o governo assume-se como fornecedor de fundos e capitais às instituições com o propósito de garantir as suas promessas (*idem*, 2010). Por outro lado, esta base sustentadora para o funcionamento do sistema financeiro acaba por fomentar o aumento da dívida pública. No caso da "*banca não conseguir recapitalizar-se no mercado, são os cofres nacionais a avançar*" (Económico, 2011a). É possível constatar como os Estados, incluindo os que não têm acesso aos mercados e com constrangimentos enormes nas contas públicas, ainda têm de assumir muitos dos problemas das organizações, neste caso bancárias. Nos países afetados pela crise, a participação pública no sector privado tem vindo a aumentar, com os 50 maiores bancos dos EUA e da UE a receberam injeções de capital. Isto significa "*que os contribuintes estão a sustentar bancos que representavam, antes da crise, 76% e 40% da capitalização bolsista*" (FMI *apud* Costa, 2010, p.73), respetivamente. Tais acontecimentos evidenciaram que a supervisão e regulação são inadequadas e que apenas os governos nacionais detinham os recursos orçamentais para resgatar as instituições financeiras.

Seria de esperar que o «darwinismo económico» eliminasse as instituições bancárias mal geridas. No entanto, os Estados têm vindo, no decorrer da crise, a financiar instituições bancárias sem quaisquer garantias de voltarem a ser reembolsados, o que provou ser financeiramente desastroso e danoso para os cofres dos Estados. Além dos défices públicos terem aumentado significativamente, os mesmo bancos, agora providos de uma enorme liquidez, compram a dívida estatal a juros altíssimos nos mercados.

Amplificando a complexidade do sistema financeiro, os bancos, além de comprarem dívida pública nacional, também arriscam em comprar dívida de outros países, expondo-se assim ao comportamento definido pelo mercado. A ligação entre Estados, instituições financeiras e mercados, poderá trazer consequências severas para toda a sociedade, no caso de um destes elos falhar. A interdependência entre países, neste caso financeira, ameaça todos os sistemas bancários no caso de um dos países entrar em incumprimento.

6. CONSEQUÊNCIAS DA CRISE E MEDIDAS PROFILÁTICAS

Preconceitos históricos reacenderam-se contra os países mediterrâneos e, particularmente, dos britânicos em relação aos irlandeses. O uso do termo PIGS (referindo-se a Portugal, Itália, Grécia e Espanha) quer sublinhar a instabilidade financeira e o défice de produtividade destes Estados, mais especificamente, os países do Sul da União Europeia. Após a crise de 2008, surgiu uma versão diferente com a Irlanda em destaque, passando a referirmo-nos ao acrónimo PIIGS. Estes países têm em comum não só serem assolados pelas fragilidades económicas, como também ao facto de pertencerem à periferia económica. Para Camacho (2012), este estigma imputado a este conjunto de países não foi mais do que uma estratégia de *marketing* dos EUA

e do Reino Unido que, com valores de contração económica, desemprego, endividamento e défice idênticos aos destes países, permitiu desviar outras questões de agenda política. Sob fogo cerrado pela ação dos especuladores financeiros e das agências de *rating*, os países começam a ter dificuldade em financiar-se com receio de uma recessão.

A recuperação da crise é assim feita através de austeridade e de mudanças socioeconómicas, desde o aumento de impostos até às mudanças nas leis laborais, sobre o pretexto do cidadão comum ser pouco competitivo e com capacidade produtiva insuficiente, usufruindo ainda de um excesso de benefícios sociais. Tecnicamente denominada de deflação, "*consiste em reduzir as despesas (públicas e privadas, as das firmas e [ou] as dos particulares). A moeda passa, então, a circular de uma conta para a outra*" (Kahn, 1973, p.22). Periodicamente praticada pelos governantes dos países capitalistas, estes "*voltam-se então contra os salários e pensões (esforçando-se por os bloquear, ou chegando mesmo a diminuí-los, (…) e ainda contra as despesas de carácter social necessárias à população trabalhadora (equipamentos colectivos, segurança social, etc.)*" (*idem*, 1973, p.23). O Estado Social para além de arrecadar com a fatura da dívida, está sujeito ao aumento da inflação (prática que diminui progressivamente o poder de compra real da moeda) (*idem*, 1973) que tenta preservar os lucros da empresas capitalistas.

Com os diversos indicadores a apontarem para o início de uma crise, e na tentativa de que o problema não se alastrasse à UE, os vários Estados aplicaram leis keynesianas, aumentando assim os seus défices. O método de financiamento dos Estados foi o mercado de obrigações que representa o sítio onde os governos e grandes empresas conseguem dinheiro emprestado "*de um leque mais amplo de pessoas e instituições do que no caso de recorrerem unicamente aos bancos*" (Camacho, 2012, p.173). Utilizado como instrumento de política monetária e fiscal dos Estados, o mercado de obrigações tem como senão o facto de quem define os juros a longo prazo é o mercado, que avalia diariamente a credibilidade das políticas dos governos, castigando com juros elevados as suas obrigações.

Através da contração de endividamento e da dificuldade em se financiarem nos mercados, vários países europeus tiveram de pedir ajuda ao FMI, contraindo empréstimos a credores internacionais, aumentando assim a sua dívida externa. A esta ação dá-se o nome de «direito de saque», podendo retirar o dinheiro depositado nesta instituição sem ser submetido a qualquer condição. Quando se pretender adquirir mais dinheiro que a soma, até então esgotada, o Estado resgatado tem de assumir compromissos. O FMI tem assim o "*direito de observar a gestão financeira do Estado, o que significa, na realidade, que as principais potências financeiras estrangeiras podem exigir do Estado em dificuldades qualquer medida considerada necessária para que ele restabeleça o equilíbrio da sua balança de pagamentos*" (Kahn, 1973, p.53). Já durante a criação do FMI, J. Taylor Peddie, um economista britânico, alertava para o poder absoluto desta instituição sobre as soberanias nacionais (Camacho, 2012).

É frequente, e a história demonstra-o, que a existência de crises políticas estão intimamente ligadas a ruturas no mecanismo de mercado, nomeadamente uma inflação galopante ou uma recessão que paralisa o funcionamento dos mercados (Samuelson; Nordhaus, 1988). Em termos políticos, as consequências desta crise foram devastadoras, com políticos descredibilizados.

7. CONCLUSÕES

Através da globalização, novos atores passaram a ter uma presença constante e notória, movimentando, especulando e avaliando os mais diversos produtos e países.

Aproveitando o desmantelamento das barreiras normativas e regulatórias do sistema financeiro, muitas instituições com os seus produtos financeiros começaram a funcionar à margem da lei, aproveitando, para este efeito, as falhas do sistema. Atividades que deviam ser bem regulamentadas e reguladas pelos serviços públicos passaram a ser atividades especulativas associadas a grandes riscos financeiros. A especulação, enquanto suposto novo meio inovador e estabilizador, conduziu a uma profunda alteração no sistema económico e financeiro, dando cada vez mais importância a certos agentes de mercado e aos seus fundamentos financeiros. Quanto às agências de *rating*, estas apresentaram um papel fundamental nesta crise, uma vez que, para além de não terem conseguido prever o início da crise, permitiram o agravamento da recuperação económica. Já no final, estas assumiram posições de pressão política, com vista a cumprirem objetivos pessoais, através de ameaças de corte nas notações dos países.

Com instituições bancárias e as seguradoras a apresentarem perdas, devido principalmente ao *subprime*, os Estados intervieram. O objetivo seria o de evitar assim mais uma Grande Depressão, inicialmente nos EUA e logo a seguir nos Estados periféricos da Europa. Este intervencionismo originou um aumento do défice público e dificuldades de financiamento no mercado. Perante isto, as ações dos atores não estatais foi decisiva para o emergir da crise.

Depois de décadas de especulação desenfreada por parte dos mercados, que procuravam obter um lucro cada vez maior, estes apresentaram um conjunto de políticas de austeridade e de reformas estruturais aos contribuintes dos Estados em dificuldade (assentes no endividamento). Estas medidas foram aplicadas com a supervisão de instituições internacionais, sob pena dos Estados sofrerem um aumento das taxas de juro da dívida pública. Esta supervisão tem sido contestada por atacar a soberania dos Estados, através de sugestões e normas impostas, providenciadas por relatórios e estudos diversos das instituições internacionais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATTALI, Jacques – **a crise, e agora?** Lisboa: Tribuna da História, mar. 2009.

BONIFACE, Pascal - **Dicionário das Relações Internacionais**. 2ª Ed. Lisboa: Plátano Editoras, 2008.

CAMACHO, Santiago - **A troika e os 40 ladrões**. 1ª Ed. Lisboa: A Esfera dos Livros, 2012.

CAVALEIRO, Diogo - Wall Street abre sessão em baixa depois de declarações de Trichet**.** Jornal de Negócio. 06 out. 2011. [Consult. 06 out. 2011]. Disponível em WWW: <URL:http://www.jornaldenegocios.pt/home.php?template=SHOWNEWS_V2&id=509921>

COSTA, Carla Guapo, **Crises Financeiras na Economia Mundial**. 4ª Ed. Coimbra: Edições Almedina S.A., nov. 2010.

DOUGHERTY, James E.; PFALTZGRAFF, JR., Robert L. - **Relações Internacionais**. 2ª Edição. Lisboa: Gradiva, jul. 2011.

DUNNE, Tim; KURKI, Milja; SMITH, Steve - ***International Relations Theories***. 2ª Ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

ECONÓMICO - Europa chega a acordo para recapitalizar a banca**.** Económico. 23 out. 2011a. [Consult. 23 out. 2011]. Disponível em WWW: <URL:http://economico.sapo.pt/noticias/europa-chega-a-acordo-para-recapitalizar-a-banca_129696.html>

ECONÓMICO; LUSA - Europa aprova regras inéditas para travar especulação**.** Económico. 15 nov. 2011. [Consult. 15 nov. 2011b]. Disponível em WWW: <URL:http://economico.sapo.pt/noticias/europa-aprova-regras-ineditas-para-travar-especulacao_131388.html>

ECONÓMICO, LUSA - Parlamento aprova taxa sobre transacções financeiras**.** Económico. 23 maio 2012. [Consult. 23 maio 2012]. Disponível em WWW: <URL:http://economico.sapo.pt/noticias/parlamento-aprova-taxa-sobre-transaccoes-financeiras_145157.html>

FEIO, Diogo; CARNEIRO, Beatriz Soares - **O poder das Agências**. 1ª Ed. Lisboa: Matéria-Prima, 2012.

GASPAR, Eva - Taxa sobre transacções financeiras fará recuar PIB europeu em 1,8%**.** Jornal de Negócios. 28 set. 2011. [Consult. 28 set. 2011a]. Disponível em WWW: <URL:http://www.jornaldenegocios.pt/home.php?template=SHOWNEWS_V2&id=508523>

GNESOTTO, Nicole; GIOVANNI, Grevi - **O Mundo em 2025**. 1ª Ed. Lisboa: Editorial Bizâncio, 2008.

KHAN, Jacques – **para compreender as crises monetárias**. 2ª Ed. Lisboa: Editorial Estampa, dez. 1973

LEITÃO, Luís; REGO, Luís - Alemanha poupa 13 mil milhões com crise do euro**.** Económico. 06 dez. 2011. [Consult. 06 dez. 2011]. Disponível em WWW: <URL:http://economico.sapo.pt/noticias/alemanha-poupa-13-mil-milhoes-com-crise-do-euro_133023.html>

MALTEZ, José Adelino - **Curso de Relações Internacionais**. 1ª Ed. Cascais: Princípia Editora, Lda, 2002.

NASCIMENTO, Jorge; SILVESTRE, João. - **"Portugal não está sequer perto da Grécia"**. JornalExpresso. 14 jan. 2012.

PAULA, Hugo - Restrições à especulação com dívida pública nacional entram em vigor amanhã**.** Jornal de Negócios. 31 out. 2012. [Consult. 31 out. 2012]. Disponível em WWW: <URL:http://www.jornaldenegocios.pt/home.php?template=SHOWNEWS_V2&id=587645>

PEDRO, Carla - Wall Street em queda com novos receios em torno da Europa**.** Jornal de Negócios. 07 nov. 2011a. [Consult. 07 nov. 2011]. Disponível em WWW: <URL:http://www.jornaldenegocios.pt/home.php?template=SHOWNEWS_V2&id=517425>

PEDRO, Carla – S&P admite que fez ameaça para interferir no resultado da cimeira europeia**.** Jornal de Negócios. 06 dez. 2011b. [Consult. 06 dez. 2011]. Disponível em WWW: <URL:http://www.jornaldenegocios.pt/economia/detalhe/sampp_admite_que_fez_ameaccedila_para_interferir_no_resultado_da_cimeira_europeia.html>

REGO, Luís - Taxa 'Tobin' na UE renderá 55 mil milhões por ano**.** Económico. 28 set. 2011. [Consult. 28 set. 2011]. Disponível em WWW: <URL:http://economico.sapo.pt/noticias/taxa-tobin-na-ue-rendera-55-mil-milhoes-por-ano_127735.html>

REGO, Luís; SILVA, Marta Maques - Bruxelas apresenta hoje propostas para limitar poder das agências de 'rating'**.** Económico. 15 nov. 2011. [Consult. 15 nov. 2011]. Disponível em WWW: <URL:http://economico.sapo.pt/noticias/bruxelas-apresenta-hoje-propostas-para-limitar-poder-das-agencias-de-rating_131208.html>

ROCHE, Marc – **O Banco**. 4ª Ed. Lisboa: A Esfera dos Livros. 2012.

SAMUELSON, Paul A.; NORDHAUS, William D. – **ECONOMIA**. 12ª Ed. Lisboa: McGraw Hill, 1988.

VEKSHIN, Alison - U.S. Senators Propose Reinstating Glass-Steagall Act (Update3)**.** Bloomberg., 16 dez. 2009 [Consult. 20 nov. 2012] Disponível em WWW: <URL:http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aQfRyxBZs5uc>

WALTZ, Kenneth N. - **Teoria das Relações Internacionais**. 2ª Ed. Lisboa: Gradiva, fev. 2011.

A Subjetividade na Avaliação do Mérito dos Militares da Força Aérea: Métodos para a sua redução

Autores: Nuno Cruz,
Tenente Aluno da Especialidade de Pessoal e Apoio Administrativo

Ana Jesus, Tenente Aluna da Especialidade de Pessoal e Apoio Administrativo
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Mário Martins, Major Técnico de Pessoal e Apoio Administrativo
Direção de Pessoal, Comando do Pessoal, Força Aérea Portuguesa

Resumo: A avaliação de desempenho é um dos principais processos de gestão de recursos humanos que se desenvolve numa organização. Sendo pela sua complexidade e natureza bastante polémico e potencialmente influenciado por erros e enviesamentos, resultantes da subjetividade que é inerente à condição humana, torna-se, frequentemente, passível de críticas.
Por analogia à avaliação de desempenho, também a avaliação do mérito militar é dotada de uma enorme complexidade e permeável à subjetividade, pese embora os diplomas que a regulamentam procurarem garantir o máximo de objetividade no processo. Esta é a temática que deu corpo ao presente trabalho de investigação ao procurar soluções para a redução da subjetividade inerente ao processo de avaliação do mérito dos militares da Força Aérea.
Concluiu-se que no processo de avaliação do mérito militar, os avaliadores podem incorrer em erros que extrapolam o previsto no Regulamento de Avaliação do Mérito dos Militares da Força Aérea (REAMMFA). Assim, considerou-se que a previsão dos erros de avaliação de forma abrangente e tipificada, no plano legal, poderia contribuir para a transparência do sistema, bem como a formação que se assume como um pilar fundamental para o sucesso de qualquer método a adotar para controlar a subjetividade. Adicionalmente, concluiu-se que podem existir métodos que contribuem para reduzir a subjetividade do processo de avaliação do mérito dos militares, sendo disso exemplo a fórmula matemática resultante do presente trabalho de investigação e que, testada num universo fictício, provou ser possível normalizar classificações e fazer uma análise mais objetiva de militares em situação comparável.

Palavras-chave: Subjetividade, Objetividade, Avaliação de Desempenho, Erros de Cotação/Avaliação, Metáforas de Avaliação, Avaliação do Mérito, Regulamento de Avaliação do Mérito, Mérito Militar, Ficha de Avaliação Individual, Mérito Absoluto, Mérito Relativo, Avaliado, Avaliador, Perfil do Avaliador, Fatores de Avaliação.

1. INTRODUÇÃO

Num mercado fortemente globalizado e competitivo as organizações deparam-se com a necessidade de se adaptarem permanentemente às mudanças que se operam no seu meio envolvente. O seu sucesso ou insucesso passa, indispensavelmente, pela forma como elas gerem os seus recursos internos, mais concretamente, os seus recursos humanos.

A Gestão de Recursos Humanos (GRH) nas organizações assume, nos dias de hoje, uma importância capital porque o maior fator de diferenciação de uma organização não está nas infraestruturas e tecnologia existentes, mas sim no capital humano de que ela dispõe. No âmbito da GRH insere-se a temática da Avaliação de Desempenho, enquanto instrumento de grande valor para estas conseguirem estimular os seus colaboradores a terem um desempenho de qualidade, reconhecendo, para tal, o mérito e a excelência.

As Forças Armadas, e em particular a Força Aérea, constituem uma realidade com características específicas, baseadas num quadro legislativo e regulamentar próprios, onde a Avaliação do Mérito (por analogia à Avaliação do Desempenho) é alvo de apreciação cuidada e pretende contribuir para uma correta gestão de pessoal, tendo por base critérios objetivos referentes ao exercício das atividades e funções dos militares.

Todavia, por muito que se tente objetivar a avaliação do desempenho, existem erros e enviesamentos neste processo que dificultam esta objetivação, mais ainda, a própria condição humana dos avaliadores tem inerente uma subjetividade impossível de anular.

Posto isto, o presente trabalho centrar-se-á na temática da Avaliação do Mérito Militar na Força Aérea, com particular ênfase na objetividade/subjetividade existente neste processo. Terá, assim, por objetivo encontrar soluções para assegurar a redução da subjetividade, nomeadamente, através da análise de erros de avaliação, bem como da utilização de uma ferramenta, consubstanciada numa fórmula matemática, desenvolvida e testada no decurso deste trabalho de investigação, que controle a subjetividade da avaliação através da normalização das classificações resultantes das Fichas de Avaliação Individuais (FAI).

Como método de investigação será utilizado o Modelo proposto por Quivy e Campenhoudt, frequentemente utilizado na área das Ciências Sociais.

2. A AVALIAÇÃO DO MÉRITO MILITAR

2.1 Enquadramento legal

A menção de diplomas legais normativos da realidade militar implica, forçosamente, o destaque do Estatuto dos Militares das Forças Armadas (EMFAR). Neste diploma estão dispostas as orientações gerais para os militares em termos de prestação de serviço, carreira, deveres e direitos, com as ressalvas necessárias à especificidade de cada Ramo.

No que concerne, em particular, à avaliação do mérito militar, esta encontra-se regulamentada para os três Ramos das Forças Armadas no Capítulo I do EMFAR, nos artigos 80.º a 89.º, e no Capítulo IX, nos artigos 200.º a 203.º.

Em termos concretos, a avaliação individual contribui para consubstanciar as decisões de pessoal que recaem sobre atos administrativos que envolvem os militares, designadamente em processos de promoção nas suas várias modalidades, em nomeações para diversos cargos, por exemplo em organismos internacionais, ou ainda para o desempenho de funções fora da estrutura militar. Importa também referir a importância que a avaliação individual tem para a frequência de cursos, sejam eles de formação, qualificação ou promoção.

Desta forma, entende-se o papel fulcral que este normativo atribui à avaliação do mérito militar, como instrumento preponderante nas decisões em matéria de GRH, o que não valida a sua utilização exclusiva no processo decisório, pois o EMFAR também refere taxativamente "*Nenhuma avaliação individual poderá, por si só, determinar qualquer ato de administração de pessoal em matéria de promoções.*" (art.º 88.º, n.º 2, do EMFAR).

Em suma, é no EMFAR que estão dispostos os princípios fundamentais norteadores da avaliação do mérito nas Forças Armadas permitindo, contudo, que os Ramos desenvolvam regulamentação própria, conforme apresentado no subcapítulo seguinte.

a. Análise da subjetividade na avaliação do mérito militar na Força Aérea

A necessidade de garantir a objetividade na avaliação do mérito militar é uma constante presente tanto no EMFAR como no artigo 12.º do REAMMFA. Contudo, a avaliação de desempenho está sempre sujeita à subjetividade, não fosse esta realizada por e sobre seres humanos.

A realidade castrense e os militares não são exceção como, aliás, foi evidenciado por Ribeiro (2010) quando verificou algumas situações indicadoras do grau de subjetividade que os militares da Força Aérea imprimem na avaliação do mérito militar dos seus subordinados aquando do preenchimento das FAI, a saber:

- Apesar das FAI se reportarem a períodos temporais definidos, quase metade dos avaliadores fazem comparações com avaliações anteriores;
- Apenas pouco mais de metade dos avaliadores admitiu consultar os descritores dos fatores de avaliação quando recebe uma FAI embora, considerando que é aqui que estão indicados os comportamentos a observar nos avaliados, fosse expectável um quantitativo superior. Esta dificuldade já havia sido identificada em estudos anteriores (Severiano, 2009);
- Cerca de um quarto dos avaliadores, ocasionalmente, evitam atribuir classificações baixas;
- Aproximadamente um sexto dos avaliadores tem receio, ocasionalmente, de classificar os avaliados com notas altas pelo facto de se poderem vir a arrepender disso;
- A presença de alguns erros de avaliação indicados no Quadro 1.

Quadro 1: Taxa de respostas por erro de avaliação (%)

	Sempre	Frequentemente	Às vezes	Raramente	Nunca
Contraste	35,0	34,2	21,7	2,5	6,7
Halo	0,8	14,2	56,7	15,8	12,5
Primeira impressão	0,0	4,2	18,3	43,3	34,2
Fadiga	1,7	10,8	31,7	28,3	27,5

Adaptado de Ribeiro, 2010

Para além do mencionado, a subjetividade também pode tomar a forma de dificuldade administrativa no REAMMFA se se considerar que o tempo comum de exercício de funções da avaliação tem particular importância no papel que o avaliador assume. Este tempo comum é fundamental, tanto para o processamento administrativo, como para garantir um período de conhecimento mútuo avaliado/avaliador.

Por último, existem vários militares que cumprem missões de âmbito conjunto e combinado, em estruturas OTAN, que são avaliados através do *International Evaluation Report* (IER). Tal como Severiano (2009) já havia identificado, existem dificuldades de transposição dos níveis avaliados

do IER(1) para o sistema previsto no REAMMFA, que podem levar a problemas de equidade no mérito relativo dos militares avaliados por sistemas diferentes. A subjetividade pode ocorrer em dois momentos: 1.º) quando o avaliador em missão OTAN avalia; 2.º) quando os órgãos decisores comparam essa classificação com as classificações produzidas pelo REAMMFA para efeitos de progressão na carreira.

Perante as observações indicadas é possível concluir que a subjetividade está, efetivamente, presente na avaliação do mérito dos militares da Força Aérea, o que permite afirmar que "*A introdução de medidas corretivas ao atual sistema de avaliação acrescenta qualidade ao processo de Avaliação Individual*" (Ribeiro, 2010). Esta afirmação vem corroborar a necessidade de validação das hipóteses cujos métodos serão apresentados mais adiante.

3. METODOLOGIA

3.1 Método de investigação

Conforme indicado anteriormente, para a concetualização e realização do presente trabalho de investigação foi utilizado o modelo proposto por Quivy e Campenhoudt (1992).

Considerando que a subjetividade é intrínseca e indissociável do ser humano e, por conseguinte, do processo de avaliação de desempenho, face à pesquisa bibliográfica apresentada, pretende-se encontrar soluções que permitam minimizar o seu impacto no processo de avaliação do mérito militar na Força Aérea. Na persecução deste propósito procurar-se-á responder à seguinte pergunta de partida: <u>De que forma será possível diminuir a subjetividade no processo de avaliação de mérito dos militares da Força Aérea?</u>

Com o intuito de responder à questão acima indicada, verificou-se a necessidade de colocar questões derivadas que refutem ou confirmem a pergunta de partida, nomeadamente:

Questão 1: A identificação e conhecimento de situações geradoras de subjetividade poderão contribuir para a diminuição das mesmas na avaliação do mérito militar?

Questão 2: Será possível desenvolver métodos de controlo da subjetividade da avaliação do mérito militar?

A consubstanciação teórica para responder às questões indicadas teve por base bibliografia, legislação, informação da *internet*, bem como trabalhos de investigação disponíveis acerca da temática em análise, nomeadamente, na área da Avaliação do Desempenho bem como da Psicologia e Comportamento Organizacional. Neste pressuposto, foram envidados esforços no sentido de procurar identificar erros na avaliação, bem como métodos passíveis de implementação que os atenuem. Posto isto e considerando o objetivo de responder às perguntas derivadas, formularam-se as seguintes hipóteses:

(1) Severiano (2009), no seu estudo, demonstrou não ser possível transpor os níveis do IER para os da FAI sem adulterar significativamente a intenção dos avaliadores.

Hipótese 1: A identificação e conhecimento de situações geradoras de subjetividade contribuem para a diminuição das mesmas na avaliação do mérito militar.

Hipótese 2: É possível desenvolver métodos de controlo da subjetividade da avaliação do mérito militar.

Face ao exposto, a metodologia do presente trabalho de investigação será desenvolvida com o intuito de fornecer respostas à pergunta de partida e questões derivadas, bem como de testar as hipóteses acima enunciadas.

Portanto, partindo do pressuposto identificado no subcapítulo 2.2, em que se destacaram as dificuldades sentidas pelos avaliadores no momento da avaliação e que condicionam a objetividade da sua avaliação, é possível afirmar que estes tenderão a avaliar os seus subordinados com base em conceitos de objetividade distintos ou não uniformes, i.e., os avaliadores tenderão a reagir de diferente modo a diferentes situações, o que leva a que avaliem com critérios de objetividade distintos podendo traduzir-se em erros ou metáforas previstos na bibliografia (Caetano e Vala, 2007; Caetano, 2008; Gomes et al., 2008; Mauger et al., 2010; Sousa et al., 2006) .

A dificuldade de verificação do mérito dos militares avaliados surge quando se tenta comparar as classificações de diferentes avaliadores com as diferentes médias e desvios padrão, i.e., diferentes tendências de avaliação.

Então, existindo diferentes critérios no modo de avaliar, pese embora esses critérios não serem reflexo de maior ou menor mérito objetivo dos subordinados, existirão também diferentes tendências de avaliação dos avaliadores. Essas tendências, quando assimiladas pelo Sistema de Avaliação do Mérito dos Militares da Força Aérea (SIAMMFA), permitem construir, em função das avaliações proferidas, um perfil de avaliador que pode ser utilizado em diversos processos de GRH.

O perfil do avaliador obtém-se pela média do avaliador que, quando comparado com a avaliação do subordinado, deverá permitir verificar se o avaliado se encontra acima ou abaixo da média de classificações desse avaliador. Isto permite também verificar o mérito relativo entre os subordinados de um determinado avaliador.

Face aos argumentos apresentados, para testar a hipótese 1 será efetuado o levantamento de situações geradoras de subjetividade constantes na bibliografia consultada, mediante a técnica de investigação da análise de conteúdo, estabelecendo a comparação com o previsto nos normativos legais que regulamentam a avaliação do mérito militar na Força Aérea. Daqui pretende-se determinar quais as situações limitadoras da objetividade que não estão previstas no referido normativo legal.

Com o objetivo de testar a hipótese 2 pretende-se criar um universo fictício para a aplicação de um método que se consolidará com a aplicação de um estudo de caso e respetiva discussão.

3.2 Proposta de teste para a hipótese 1

Com o intuito de testar a hipótese 1 foi proposto efetuar o levantamento de situações geradoras de subjetividade constantes na bibliografia consultada, estabelecendo a comparação com o previsto nos normativos legais que regulamentam a avaliação do mérito militar. Este exercício tem o propósito de determinar quais as situações limitadoras da objetividade que

não estão previstas nos referidos normativos. Para esse efeito, foi elaborado o Quadro 2 onde constam os erros de avaliação e a sua previsão legal, quando exista.

Quadro 2: Comparação de formas de subjetividade entre a bibliografia e os normativos legais

Erro/Efeito de avaliação	Normativo legal
Halo/*horn*	Art.º 12.º, n.º 1, d), e) e f) do REAMMFA
Leniência/Severidade	
Tendência central	
Restrição de amplitude	
Efeito de recência	
Estereótipos	Art.º 12.º, n.º 1, a), b), d) e g) do REAMMFA Art.º 81.º, n.º 5 do EMFAR
Erro fundamental da atribuição causal	Art.º 12.º, n.º 1, c) do REAMMFA
Erro de contraste	
Protótipo de "empregado ideal"	
Efeito similitude	
Efeito das expectativas prévias	Art.º 12.º, n.º 1, a) do REAMMFA
Desvio de responsabilidades	
Profecia auto confirmatória	
Inveja/receio de promover um potencial concorrente	
Efeitos emocionais	Art.º 12.º, n.º 1, c) do REAMMFA
Fadiga/Rotina	
Incompreensão dos fatores de avaliação	Art.º 12.º, n.º 1, g) do REAMMFA
Erro de primeira impressão	Art.º 12.º, n.º 1, b) do REAMMFA
Unilateralidade	
Subjetivismo	

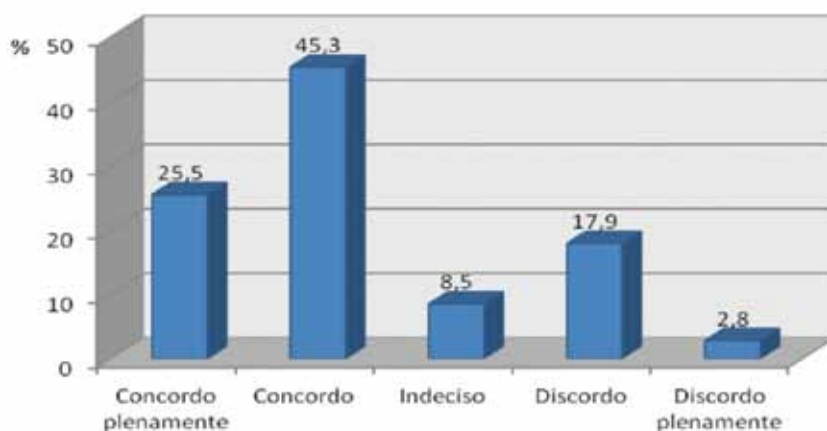
A análise do Quadro 2 permite verificar que os normativos legais estão pouco detalhados. Na Força Aérea, o REAMMFA não prevê todas as situações criadoras de subjetividade que foram identificadas na literatura e que, frequentemente, poderão ocorrer na avaliação de desempenho.

Verificou-se também que alguns dos erros previstos na bibliografia surgem em mais do que uma alínea do artigo 12.º do REAMMFA, o que pode gerar confusão ou falhas de interpretação. Crê-se que a tipificação dos erros pela sua designação académica, individualmente, pode facilitar a sua identificação por parte dos avaliadores. Seria uma mais-valia que os avaliadores tivessem

conhecimento deste tipo de comportamentos e da forma como afetam a sua objetividade na avaliação do mérito militar.

Esta realidade é complementada, no estudo de Ribeiro (2010) ao verificar que cerca de 60% dos militares inquiridos nunca recebeu qualquer ação de sensibilização na área da avaliação individual, na Força Aérea, sendo que 80% destes militares concordam que o facto de não terem recebido ações desta natureza afeta a qualidade[2] que se pretende na avaliação.

Verificou ainda que 88,3% dos militares inquiridos não receberam qualquer formação, propriamente dita, na área da avaliação individual sendo que, também aqui, constatou que 70,8% dos militares da Força Aérea sentem que o facto de não terem recebido ações de formação pode afetar a qualidade da avaliação (Gráfico1).

Gráfico 1: Relação entre “não possuir formação” e “afetação da qualidade da avaliação”

Adaptado de Ribeiro, 2010

Apesar de se considerar que a delineação de um programa de formação estruturado, a ministrar aos avaliadores, e que abranja as formas de subjetividade conhecidas, poderá minimizar os impactos da subjetividade nas avaliações, crê-se que a previsão dos erros de avaliação no plano legal poderia contribuir para a transparência do sistema.

Perante os argumentos apresentados considera-se que a hipótese 1 está validada e que a formação, nesta hipótese, poderá contribuir para a diminuição da subjetividade no processo de avaliação do mérito dos militares da Força Aérea, o que responde afirmativamente à primeira questão derivada.

(2) Ribeiro (2010) definiu que a Avaliação Individual é produzida com qualidade quando está de “*acordo com o cumprimento do enunciado no REAMMFA, fundamentalmente no seu art.° 10.° e 12.°. É uma avaliação que se pretende que seja consciente, sensata, rigorosa e livre de preconceitos*”.

3.2 Proposta de teste para a hipótese 2

Com o intuito de validar a hipótese 2 considerou-se, no método a desenvolver, a distribuição normal, também conhecida como Distribuição de Gauss ou Gaussiana. Além de descrever uma série de fenómenos físicos e financeiros, a distribuição normal é aplicada normalmente em estatística inferencial sendo descrita pelos parâmetros média e desvio padrão. A distribuição normal serve de aproximação para o cálculo de outras distribuições quando o número de observações aumenta (Murteira, et al., 2007: pp. 226-227).

A técnica da normalização de distribuição de dados traduz-se na seguinte fórmula:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Em que "Z" corresponde ao afastamento padronizado referente a uma das medidas de interesse; "X" corresponde ao valor observado da medida a normalizar; "μ" refere-se ao valor médio dessa distribuição e "σ" ao desvio padrão da referida distribuição.

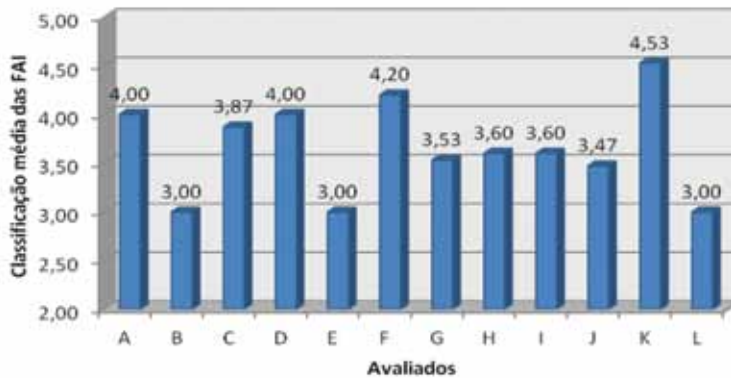
Esta técnica serviu de base para a preparação do modelo que se apresenta no subcapítulo 3.3.1.2, face à necessidade de harmonizar distribuições distintas entre as classificações absolutas dos avaliados que são produzidas pelas FAI e os perfis dos avaliadores. Para esse efeito procurou-se desenvolver uma fórmula matemática que permita a harmonização das classificações resultantes das FAI com as classificações decorrentes do perfil dos avaliadores.

3.3.1 Estudo de caso

3.3.1.1 Caracterização do universo do estudo de caso

Considerando a hipótese a testar e dado o caráter confidencial das informações constantes nas FAI - conforme previsto no artigo 9.º do REAMMFA - bem como a necessidade de testar situações limite de descriminação de avaliações que dificilmente se encontrariam reunidas, por completo, numa situação real, optou-se pela criação de um universo fictício para a aplicação do método anteriormente indicado. Assim sendo, criou-se um universo de avaliações, em situação de avaliação periódica (anual), para 12 avaliados, classificados de A a L e com a apresentação do seu mérito absoluto[3] resultante do apuramento do valor médio dos fatores, conforme indicado no Gráfico 2.

(3) Para efeitos do presente trabalho de investigação entenda-se por "mérito absoluto" a classificação que decorre da média dos valores atribuídos aos fatores da FAI e por "mérito relativo" os resultados do presente trabalho de investigação que permitam determinar a ordenação ou a classificação relativa entre militares de um determinado universo.

Gráfico 2: Classificação média da FAI dos avaliados antes da aplicação da fórmula

A interpretação das avaliações (Gráfico 2), sem a adição de qualquer outro elemento informativo, permite desde logo identificar os militares que se destacam pela positiva (K e F) e os que apresentam piores prestações (B, E e L), bem como aqueles que têm a mesma classificação (A e D; B, E e L; H e I). Este universo traria diversas dificuldades para a determinação do mérito militar relativo de cada um dos militares em análise uma vez que, considerando apenas o mérito absoluto, através das classificações médias das FAI, os militares apresentariam a ordenação constante no Quadro 3.

Quadro 3: Ordenação dos militares por classificação de mérito absoluto

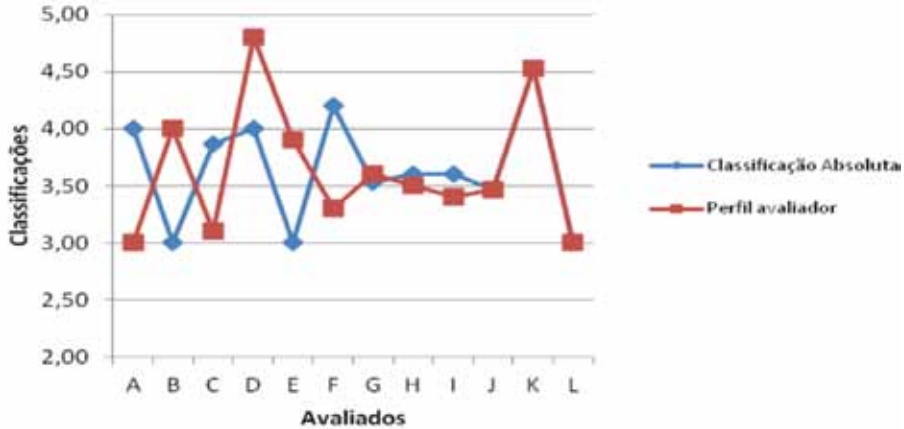
1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º
K	F	A e D	C	H e I	G	J	B, E e L

Considerando, então, outros elementos informativos que contemplem o perfil do avaliador e que são extrapoláveis do SIAMMFA, tem-se o perfil do avaliador que se traduz no valor médio das suas avaliações, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Classificação média dos avaliados na FAI vs perfil do avaliador

Avaliado	Classificação	Perfil Avaliador	Diferença
A	4,00	3,00	**1,00**
B	3,00	4,00	**-1,00**
C	3,87	3,10	**0,77**
D	4,00	4,80	**-0,80**
E	3,00	3,90	**-0,90**
F	4,20	3,30	**0,90**
G	3,53	3,60	**-0,07**
H	3,60	3,50	**0,10**
I	3,60	3,40	**0,20**
J	3,47	3,47	0,00
K	4,53	4,53	0,00
L	3,00	3,00	0,00

Com a interpretação da informação referente às classificações dos avaliados e do perfil dos avaliadores resultam as diferenças ilustradas no Gráfico 3.

Gráfico 3: Comparação das classificações médias das FAI com os perfis dos avaliadores

Considerando os dados indicados verifica-se que existem grandes discrepâncias entre as classificações dos avaliados e os perfis dos avaliadores (avaliações A a F) tal como diferenças mais subtis (avaliações G a I). Deste modo, mesmo face ao elemento informativo do perfil do avaliador será muito difícil aferir, considerando os elementos do universo em análise, qual o mérito relativo de cada um destes militares.

Neste momento sente-se a necessidade de trabalhar os dados para obter informação mais fiável que diminua as discrepâncias identificadas entre as classificações dos avaliados e a média constante no perfil dos avaliadores, aumentando a objetividade na análise dos dados. Esse exercício será desenvolvido no subcapítulo seguinte em que se apresenta uma proposta de modelo.

3.3.1.2 Apresentação do modelo

Considerando o enquadramento à fórmula de normalização indicada no subcapítulo 3.3, uma vez que a classificação das FAI decorre da média da avaliação dos fatores 13 a 27 - sendo nestes que a subjetividade dos avaliadores se poderá manifestar -, entende-se que será a este nível que a correção da subjetividade na avaliação por parte dos avaliadores deve ser exercida.

Adicionalmente, atendendo a que se pretende criar uma ferramenta que permita reduzir a subjetividade, esta deverá considerar os desvios decorrentes da tendência do avaliador, ou seja, do perfil do avaliador em causa, que, em concreto, passa por tentar dirimir os erros de carater psicométrico, já que os do foro cognitivo são demasiado complexos para permitir a construção de um modelo, em sede de trabalho de investigação do Estágio Técnico-Militar (ETM).

Face ao exposto, tomando em consideração os enviesamentos decorrentes da subjetividade dos avaliadores e que se traduzem em diferentes perfis de avaliador, e partindo do pressuposto

que o que se pretende calcular corresponde à classificação ou ao mérito relativo entre os militares, com base nos fatores avaliados com nota de 1 a 5, propõe-se, para teste, a seguinte fórmula:

$$\frac{((CF\ 13 - MAF\ 13) / DPAF\ 13)) + (\ldots) + ((CF\ 27 - MAF\ 27) / DPAF\ 27))}{N.^{o}\ de\ Fatores} + CFAI$$

Legenda:

CF - Classificação do Fator N

MAF - Média do avaliador no fator de avaliação N

DPAF - Desvio padrão dos avaliadores no fator de avaliação N

CFAI - Classificação final da FAI do avaliado

Da análise sumária da fórmula apresentada deve reter-se que a normalização das classificações das FAI se opera considerando as médias e os desvios padrão dos avaliadores no cálculo da avaliação de cada avaliado.

Posto isto, com esta fórmula pretende-se aferir o mérito militar relativo entre os militares de um determinado universo e em situação comparável. No entanto, face à dificuldade que a temática da subjetividade encerra em si mesma e face aos resultados recolhidos com a aplicação da fórmula e análise das vicissitudes do processo de avaliação na Força Aérea, detetaram-se as seguintes limitações à aplicação da fórmula:

- A fórmula não prevê o número de avaliados que cada avaliador tem ao seu cargo. Esta situação poderá influenciar a classificação média atribuída pelo avaliador;
- Em situações limite, o valor da classificação corrigida poderá exceder os valores previstos nas FAI (1 a 5) e gerar alguma confusão no processo de tomada de decisão;
- As classificações que resultam da fórmula são úteis enquanto instrumento de gestão para apoio na tomada de decisão não devendo, contudo, e por não se encontrarem previstas normativamente, ser a única fonte informativa em qualquer processo de tomada de decisão em concomitância com o preconizado no n.º 3 do artigo 17.º, REAMMFA[4];
- A fórmula deverá ser utilizada para militares em situação comparável[5] para reduzir a hipótese de resultados deturpados;
- Esta fórmula está preparada para calcular os desvios de avaliação considerando igual peso entre fatores. Caso se pretenda valorizar um ou vários fatores em detrimento de outros a fórmula deverá ser ajustada;
- O SIAMMFA não está preparado para calcular médias, ou perfis de avaliação dos avaliadores, por fator. A implementação da fórmula de cálculo aqui apresentada implicaria

(4) O art.º 17.º, n.º 3 do REAMMFA preconiza que: "*Nenhuma avaliação individual pode, por si só, determinar qualquer ato de administração de pessoal em matéria de promoções ou de nomeações para a frequência de cursos por escolha*".

(5) Entenda-se por situação comparável as situações previstas legal e normativamente que requeiram a apreciação do mérito militar.

a compartimentação do perfil do avaliador por fator no SIAMMFA para que possam ser calculadas as respetivas médias e desvios padrão.

3.3.1.3 Teste de validade do estudo de caso

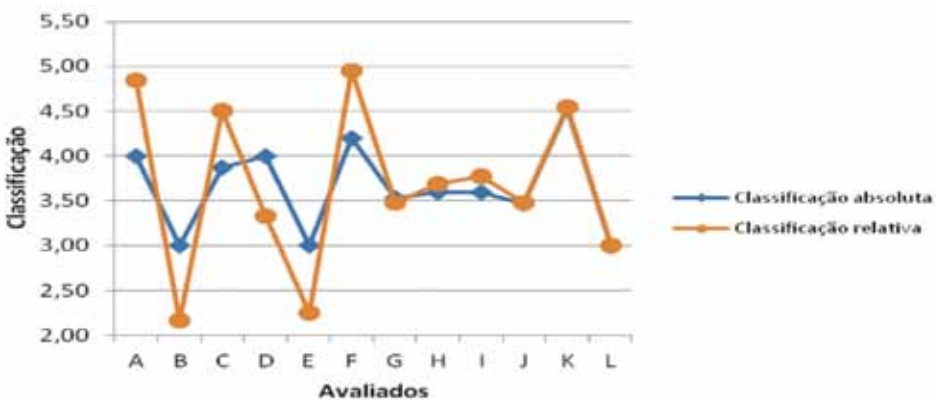
Encontrando-se definido o universo fictício e o modelo de redução da subjetividade proposto, estão reunidas as condições para testar a sua validade. Assim, uma vez que a fórmula proposta requer a consideração da avaliação atribuída pelos avaliadores a cada fator da FAI é fundamental apresentar as avaliações dos avaliados nos mesmos termos. Portanto, este é o momento para apresentar os dados e os cálculos efetuados, considerando os fatores de correção das classificações e os desvios padrão dos avaliadores.

A aplicação da fórmula permitiu a criação de uma classificação de mérito relativo entre os militares analisados que diverge da classificação absoluta constante da FAI. Embora os militares possam ter tantas classificações de mérito relativo quanto os universos em que sejam inseridos para efeitos de determinação do mérito militar, é possível verificar que a aplicação da fórmula cria classificações relativas e permite determinar a reordenação dos militares, tomando como referência o Quadro 3, que se reporta ao mérito absoluto.

Quadro 5: Ordenação dos militares por classificação de mérito relativo

1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º	12.º
F	A	K	C	I	H	G	J	D	L	E	B

Salientam-se as alterações à ordenação inicialmente apresentada no Quadro 3, destacando-se o "K" que é ultrapassado pelo "F" e pelo "A"; o "D" que desce da terceira para a nona posição e os "A", "D", "H", "I", "B", "E" e "L" que deixam de partilhar as suas posições com outros militares. No Gráfico 4 são ilustradas estas diferenças nos posicionamentos.

Gráfico 4: Comparação entre classificação absoluta e relativa

Como observável no Gráfico 4, a classificação relativa difere da classificação absoluta na medida em que a média da avaliação e o perfil do avaliador diferem, sendo esta média corrigida

pelo desvio padrão da avaliação dos restantes avaliadores. Pode-se verificar que a correção será tanto menor quanto a diferença entre as classificações e as médias dos avaliadores que são mais subtis nos avaliados "G", "H" e "I" e são mínimas nos avaliados "J", "K" e "L". Esta realidade é evidenciada, quantitativamente, no Quadro 6 onde, em resultado da aplicação da fórmula, os dados estão ordenados por classificação de mérito relativo

Quadro 6: Classificação e ordenação final com base na classificação relativa

Avaliado	Classificação Absoluta	Perfil Avaliador	Classificação Relativa
F	4,20	3,30	**4,952**
A	4,00	3,00	**4,842**
K	4,53	4,53	**4,543**
C	3,87	3,10	**4,505**
I	3,60	3,40	**3,773**
H	3,60	3,50	**3,686**
G	3,53	3,60	**3,477**
J	3,47	3,47	**3,474**
D	4,00	4,80	**3,326**
L	3,00	3,00	**3,000**
E	3,00	3,90	**2,250**
B	3,00	4,00	**2,164**

4. CONCLUSÕES

O enquadramento do presente trabalho de investigação levou, em primeira instância, à confirmação de que a avaliação do desempenho é fundamental na GRH de qualquer organização sendo que, da mesma forma, a avaliação do mérito militar é uma ferramenta indispensável no âmbito da GRH nas Forças Armadas. O referido enquadramento permitiu concluir, em segunda instância, que a subjetividade é intrínseca e indissociável de qualquer processo de avaliação de desempenho.

Neste trabalho de investigação procurou-se encontrar soluções que permitissem minimizar o impacto da subjetividade na avaliação do mérito militar. Deste modo, recorrendo ao método de Quivy e Campenhoudt (1992), procurou-se responder à pergunta de partida: De que forma será possível diminuir a subjetividade no processo de avaliação de mérito dos militares da Força Aérea? Daqui decorreram as seguintes questões derivadas:

Questão 1: A identificação e conhecimento de situações geradoras de subjetividade poderão contribuir para a diminuição das mesmas na avaliação do mérito militar?

Questão 2: Será possível desenvolver métodos de controlo da subjetividade da avaliação do mérito militar?

Estas questões derivadas deram origem à formulação de duas hipóteses explicativas:

Hipótese 1: A identificação e conhecimento de situações geradoras de subjetividade contribuem para a diminuição das mesmas na avaliação do mérito militar.

Hipótese 2: É possível desenvolver métodos de controlo da subjetividade da avaliação do mérito militar.

Do teste de validade da hipótese 1 chegou-se à conclusão que os erros de avaliação do mérito militar tenderão a ocorrer no processo de avaliação bem como a influenciar a objetividade do mesmo. Contudo, constatou-se que existem vários erros de avaliação previstos na bibliografia consultada que não se encontram tipificados ou previstos no REAMMFA, o que, a verificar-se, poderia contribuir para a tomada de consciência dos avaliadores no sentido de evitá-los e desta forma aumentar a objetividade do processo de avaliação do mérito militar.

Com o teste da hipótese 2 criou-se uma fórmula matemática que possibilitasse a harmonização das classificações resultantes das FAI, com base no perfil do avaliador, aplicada num universo fictício e por analogia a uma situação real. Da aplicação da fórmula resultou um fator de correção entre as avaliações absolutas e os perfis de avaliador que deu origem a uma classificação relativa dos militares desse universo, permitindo a reordenação dos mesmos. A aplicação deste método poderá contribuir para diminuir a carga subjetiva, enquanto ferramenta nos processos de tomada de decisão em que pese a avaliação individual dos militares.

Da análise integrada do teste das hipóteses resultou a resposta afirmativa às duas questões derivadas. Entende-se que, embora não seja possível eliminar por completo a subjetividade do processo da avaliação do mérito, considera-se possível aumentar o grau de objetividade do mesmo, através de uma maior consciencialização dos avaliadores, nomeadamente com o recurso à formação dos avaliadores bem como através da normalização das classificações dos avaliados.

Face às hipóteses, testes e argumentos apresentados, a resposta à pergunta que metodologicamente orientou este trabalho é, realmente, positiva, concluindo-se que existem formas de minimizar o impacto da subjetividade na avaliação do mérito dos militares da Força Aérea sendo, no entanto, impossível eliminá-la por completo, não fosse a avaliação ser realizada por e sobre pessoas.

Com a conclusão deste trabalho de investigação não se assume, de todo, que a discussão acerca da temática da avaliação do mérito militar se encontra encerrada. Muito pelo contrário. Este trabalho focou-se no sistema vigente, o que não invalida que novas metodologias e novas formas de avaliar os militares possam e devam ser equacionadas no futuro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAETANO, António – **Avaliação de Desempenho: O essencial que avaliadores e avaliados precisam de saber**. Lisboa: Livros Horizonte. 2008. ISBN 978-972-24-1586-6.

CAETANO, António; VALA, Jorge – **Gestão de Recursos Humanos: Contextos, processos e técnicas**. 3.ª ed. Lisboa: RH editora, 2007. ISBN 978-972-8871-15-4.

Estatuto dos Militares das Forças Armadas (EMFAR) – Decreto-lei n.º 236/99, de 25 de junho, com as alterações e retificações introduzidas pela Declaração de Retificação n.º 10-BI/99, de 31 de julho, pela Lei n.º 25/2000, de 23 de agosto, e pelos Decretos-Lei números 232/2001, de 25 de agosto, 197-A/2003, de 30 de agosto, 70/2005, de 17 de março, 166/2005, de 23 de setembro e 310/2007, de 11 de setembro.

GOMES, Jorge F. [et al.] – **Manual de Gestão de Pessoas e do Capital Humano**. Lisboa: Edições Sílabo, 2008. ISBN 978-972-618-506-2.

MAUGER, Paulo [et al.] – Avaliação de desempenho como ferramenta de gestão: a experiência da Escola de Administração Fazendária, Brasil. XV Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Sto. Domingo, Rep. Dominicana, 9-12 Nov. 2010, [Consult. 11 Dez. 2012]. Disponível em WWW:<URL: http//www.esaf.fazenda.gov.br/esafsite/biblioteca/arquivos/Apresentação_CLAD.pdf.

MURTEIRA, Bento [et al.] – **Introdução à Estatística**. 2.ª ed.. Madrid: McGraw-Hill, 2007. ISBN 972-773-116-3.

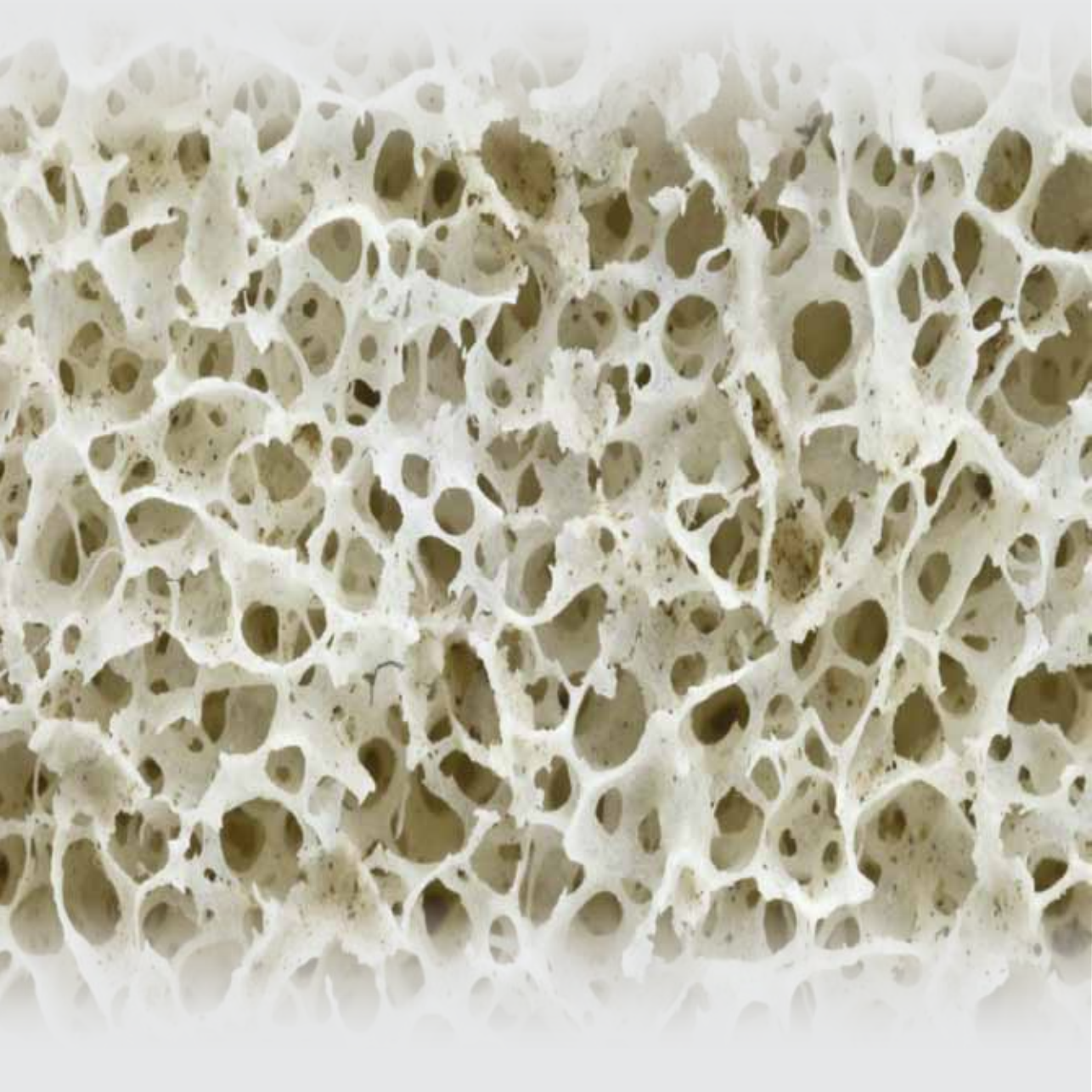
QUIVY, Raymond; CAMPENHOUDT, Luc Van – **Manual de Investigação em Ciências Sociais.** 1.ª ed. Lisboa: Gradiva, 1992.

Regulamento de avaliação do mérito dos militares da Força Aérea (REAMMFA) – Portaria n.º 976/04, de 3 de agosto.

RIBEIRO, Manuel – A gestão de recursos humanos na Força Aérea. Lisboa: Instituto de Estudos Superiores Militares, 2010. Trabalho de investigação do Curso de Promoção a Oficial Superior.

SEVERIANO, José – A avaliação do mérito dos militares que desempenham funções em estruturas conjuntas ou em cargos internacionais. Lisboa: Instituto de Estudos Superiores Militares, 2009. Trabalho de investigação do Curso de Promoção a Oficial Superior.

SOUSA, Maria José [et al.] – **Gestão dos Recursos Humanos: Métodos e Práticas**. 5.ª ed. Lisboa: Lidel – Edições Técnicas, 2006.

Bone Turnover Markers in Post-fracture Period: Studying 83 osteoporotic patients

Autor: João Felício, Alferes Aluno do Mestrado em Medicina
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientadora: Professora Doutora Helena Canhão
Serviço de Reumatologia e Doenças Ósseas Metabólicas, Hospital de Santa Maria, Lisbon, Portugal;
Rheumatology Research Unit, Instituto de Medicina Molecular,
Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Abstract

Background: Osteoporosis (OP) is defined by low bone mass and microarchitectural deterioration which increases bone fragility and fractures. The bone turnover markers (BTMs) available are promising fracture risk predictors. However there still exists uncertainty regarding their clinical application in the immediate post-fracture period because it is unknown if they are influenced by the fracture event. The aim of the work was to study BTMs in the early stages of a fragility fracture in patients who suffered a femoral neck fracture.

Methodology: 83 patients submitted to hip replacement surgery after a low-energy fracture were enrolled in this study. The patients were grouped according to the time interval between fracture and surgery: patients who underwent surgery in 3 days time (n=14); between the 4^{th} day and the 7^{th} day (n=52); and after one week from the fracture (n=17). Clinical evaluation was performed and blood samples were collected after surgery for evaluation of bone turnover markers (bone-specific ALP (BSALP), osteocalcin, amino-terminal propeptide of type I collagen (P1NP), deoxypyridinoline (DPD), carboxy-terminalcollagen crosslinks (CTX-I) and Tartrate-resistant acid phosphatase 5b (TRAcP5b)).

Results: Eighty-three patients were recruited. The mean age was of 81±8 years. When separated into the three groups considered, no statistical significant differences were observed in the parameters used to characterize our population besides the number of previous fractures, which was highest in group 3. The levels of BSALP, OCL and P1NP remained constant in all groups. DPD significantly increased over time with a significant difference between groups 1 and 3 (p-value=0.036). There was an increase in CTX-I and TRAcP5b by the end of the first week but not statistically significant. Regarding to calcium metabolism, the levels of calcium, phosphate and PTH did not show a particular variation.

Conclusions: Bone turnover markers remained stable over the first 2 weeks after fracture. Our study supports the hypothesis that blood samples collected in the emergency room after hip fracture could be used for the evaluation of bone metabolism since there are not significant alterations in the immediate post-fracture period.

1. INTRODUCTION

Osteoporosis (OP) is a systemic disease defined by low bone mass and microarchitectural deterioration which increases bone fragility and fractures. It has been most frequently recognized in elderly women but it affects both genders, all races and all age groups. One in 3 women older than 50 years will eventually experience an osteoporotic fracture, as will 1 in 5 men [Melton LJ, 1992: Melton LJ, 1998; Kanis JA, 2000]. It is estimated to affect over 200 million people worldwide [Cooper C, 1992] and by the year 2050 the incidence of hip fracture is expected to increase by 240% in women and 310% in men [Gullberg B, 1997]. Osteoporosis itself has no specific symptoms and often does not become clinically apparent until a fracture occurs. Debilitating acute and chronic pain in the elderly is often attributed to fractures from osteoporosis and can lead to further disability and early mortality [Old JL, 2004]. The osteoporotic fractures have a high social and economic burden [Kanis JA, 2005].

Osteoporosis is characterized by reduced bone mineral density (BMD), deteriorated bone microarchitecture and increase risk of fracture. According to the World Health Organization (WHO), osteoporosis is defined as a BMD that lies 2.5 standard deviations or more below the average value for young healthy adults measured by Dual-emission X-ray absorptiometry (DXA)

[WHO, 1994]. However, over half of the subjects who experienced a fragility fracture do not have OP defined by areal bone mineral density (aBMD) and assessed by dual X-ray absorptiometry (DXA) [Schuit SC, 2004].

In order to assess the risk of fracture, several algorithms have been developed. FRAX is the most used and is based upon several clinical risk factors such as age, gender, body mass index (BMI), smoking habits, alcohol intake, history of fragility fracture, parental history of hip fracture, glucocorticoid intake, Rheumatoid Arthritis, secondary osteoporosis and BMD [Kanis JA, 2000]. FRAX outputs the 10-year probability of hip and major osteoporotic fracture (clinical spine, forearm, hip or shoulder) fracture.

Bone turnover markers (BTMs) reflect the total volume of bone in a time frame allowing the indirect assessment of osteoblast and osteoclast activity. Presently, the BTMs available are promising fracture risk predictors but uncertainty still remains regarding their clinical application, not only because of intra and inter variability assay, but also for the lack of quality studies addressing this issue [Cox G, 2010].

The biochemical markers of bone turnover are measured both in blood and urine and are originated in the cellular metabolism or are products of the matrix remodeling and reflect bone turnover. These markers can be divided into formation and resorption markers. Currently, the most widely used markers for bone formation markers are alkaline phosphatase (ALP), bone-specific ALP (BSALP), osteocalcin (OCL) and procollagen type 1 propeptides C- and N-terminal (C1NP and P1NP). On the other hand, resorption markers include pyridinium crosslinks (pyridinoline, PYD and deoxypyridinoline, DPD) and the telopeptides of type I collagen C- and N-terminal (CTX and NTX). For bone remodeling evaluation, the new biomarkers included recently are tartrate-resistant acid phosphatase 5b (TRAcP5b), Cathepsin K (CTSK), bone sialoprotein (BSP) and the ratio Receptor Activator of Nuclear factor Kappa-B Ligand/Osteoprotegerin (RANKL/OPG) [Brown JP, 2009; Leeming DJ, 2006; Gerdhem P, 2004; Garnero P, 2008; Civitelli R, 2009].

The fracture event influences the levels of BTMs as a result of increased bone remodeling activity at the fractured site itself or as a reflection of accelerated bone loss close to the fracture [Cox G, 2010]. Several studies have addressed this issue in healthy adult subjects and found an elevation of BTMs during the first month post-fracture up until the 2 year follow-up with an earlier peak of resorption markers when compared with formation markers [Cox G, 2012; Joerring S, 1994; Kurdy NM, 1998; Stoffel K, 2007; Veitch SW, 2006]. Nonetheless few studies have addressed this issue in osteoporotic patients and the results are controversial [Obrant KJ, 2005; Ohishi T, 1998; Ivaska KK, 2007].

The aim of the work was to study BTMs in the early stages of a fragility fracture in patients who suffered a femoral neck fracture.

2. METHODS

2.1. Sample collection

Patients who underwent total hip replacement surgery after suffering a low-energy hip fracture were included in this study. Surgery was performed at the Orthopedic Department of Hospital

de Santa Maria from 2007 to 2010 with no changes induced by the study. Patients under anti-osteoporotic agents or bone metabolic diseases (other than osteoporosis), bone metastasis, primary tumors and osteomyelitis were excluded.

Based on these previous histological and molecular studies of healing fractures, the initial stages of this process have been proposed to include an early inflammatory and unspecific anabolic phase (first 24 hours up to third day), immediately followed by a non-specific catabolic phase (up to the end of the first week) that sets the conditions for a more bone specific anabolic phase (first week and thereafter) [Cox G, 2010; Rundle CH, 2006; Bais M, 2009; Street J, 2002; Khan SN, 2008; Multimaki P, 1987]. Therefore, patients were divided into three different groups according to time between fracture and surgery: in group 1 patients underwent surgery in the first three days after fracture (n=14); in group 2 between day 4 and day 7 after fracture (n=52); and in group 3 patients had surgery eight days or more after fracture (n=17).

A clinical questionnaire was applied in order to collect Clinical Risk Factors (CRFs) – age, gender, BMI, prior fragility fracture (other than the reason/indication for surgery), parental history of hip fracture, long term use of oral glucocorticoids (³ 3 months), rheumatoid arthritis, current smoking, alcohol intake (³ 3 units/day) and other secondary causes of osteoporosis. The ten year probability of fracture was calculated using the FRAX tool available online (http://www.shef.ac.uk/FRAX/), calibrated to the epidemiology of fracture and life expectancy of Spain, since the Portuguese data is not yet available. This algorithm provided two outputs: the ten year probability of having a major osteoporotic fracture (spine, hip, forearm or humerus) and the ten year probability of hip fracture alone. Also, in patients submitted to hip arthroplasty due to fragility fracture, the current fracture was not included in the FRAX calculation as a previous fracture.

Femoral neck aBMD of the contralateral hip were measured by DXA scan using a Lunar Prodigy densitometer (GE Healthcare, United Kingdom) at the Rheumatology and Bone Metabolic Diseases Department of Hospital de Santa Maria, four days after surgery.

Written informed consent was obtained from all patients and the study was conducted in accordance with the ethical principles for medical research involving human subjects expressed in the Declaration of Helsinki, as emended in Seoul (2008) and was approved by Hospital de Santa Maria Ethics Committee.

2.2. Biochemical assessment of bone turnover markers

Fasting blood samples were collected immediately after surgery for biochemical analysis. Serum levels of calcium, phosphorus, β-CTX-I, P1NP, OCL, parathormone (PTH), urinary DPD and creatinine were measured on fully automated Elecsys® electrochemiluminescent immunoassay analyzers (Roche Diagnostics, Switzerland). BSALP levels were measured on Access® Ostase Immunoassay Systems (Beckman Coulter, USA). TRAcP5b (Immunodiagnostic systems, USA) levels were determined by enzyme-linked immunoabsorbent assay (ELISA) according to the manufacturer recommendations.

2.3. Statistical analysis

Patients were divided, according to the number of days between the event of fracture and the surgery, in three groups: those who had hip replacement in the first three days after fracture

(group 1), between fourth and seventh days (group 2) or eight or more days after fracture (group 3). Patients characteristics are presented as means ± standard deviation or percentages. Patients characteristics were compared for nominal variables with chi-squared test and for continuous variables with analysis of variance (ANOVA). Bone turnovers markers were compared between groups using analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni correction. Significance level was set at 0.05.

Statistical analysis was performed using the Statistical Package for Social Sciences manager software, version 19.0 (SPSS, Inc, Chicago, IL, USA).

3. RESULTS

3.1. Study population

Considering the three study groups (Table 1): those who had surgery less than three days after fracture (group 1), between four and seven days (group 2) and eight or more days post-fracture (group 3) a statistical difference was found in the frequency of personal the history of previous fractures (p=0.012). No other statistical significant differences were found in the study population characteristics between groups.

Table 1. **Study population characteristics divided between time of fracture and surgery**. Values represent mean ± standard deviation. Comparisons between groups performed with ANOVA or chi-square tests. BMI – Body Mass Index; OP Therapy – Osteoporosis Therapy; BMD – Bone Mineral Density.

	Group 1	**Group 2**	**Group 3**	**p-value**
Age (years)	83 ± 7	80 ± 8	81 ± 9	0.393
Female (%)	78.6	71.2	88.2	0.313
BMI (kg/m^2)	25.92 ± 4.58	23.13 ± 5.74	26.26 ± 3.63	0.174
Previous Fractures (%)	0	17.2	54.5	0.012
Smokers (%)	0	13.8	9.1	0.437
Alcohol consumers (%)	0	3.4	0	0.626
Family History of Fracture (%)	0	6.9	18.2	0.334
Secondary Osteoporosis (%)	0	6.9	0	0.387
Rheumatoid Arthritis (%)	16.7	0	9.1	0.114
Corticosteroids (%)	16.7	0	9.1	0.114
OP Therapy (%)	0	21.4	9.1	0.212
Fall last year (%)	50	56.5	30	0.366
BMD (g/cm^2)	0.815 ± 0.062	0.731 ± 0.135	0.651 ± 0.024	0.189
T-score	1.5 ± 0.28	2.25 ± 0.91	2.66±0.57	0.236
FRAX Major (%)	15 ± 5.66	14.64 ± 7.54	19.8 ± 7.26	0.481
FRAX Hip (%)	4.6 ± 2.69	6.76 ± 3.69	9.08 ± 6.41	0.515

3.2. Bone Formation Markers

No significant differences were observed for the bone formation markers analyzed (Figure 1). The levels of BSALP were normal and remained fairly constant in all groups (p-value=0.932). Although within normal range, OCL levels remained stable between groups 1 and 2 and peaked at group 3 (p-value= 0.237). P1NP levels were relatively constant between groups (p-value=0.820).

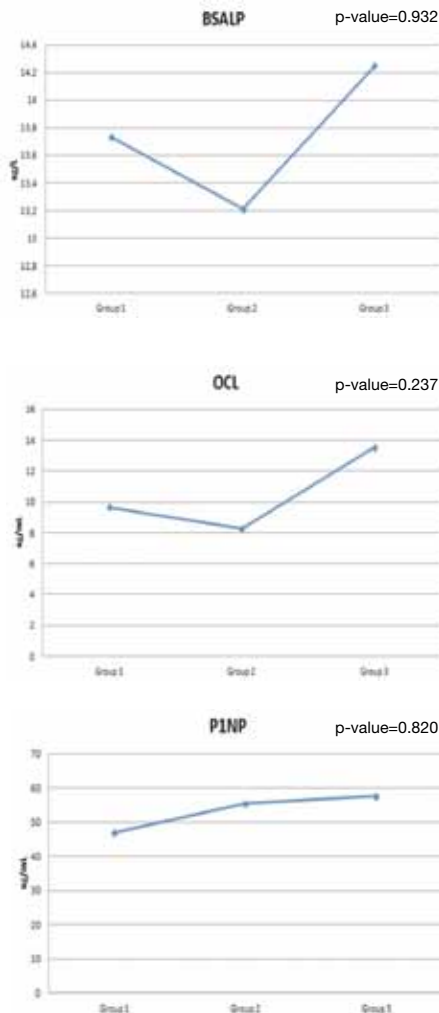



Figure 1: **Bone formation markers grouped according to the time between fracture and surgery.**
(Points represent mean values). BSALP – Bone Specific Alkaline Phosphatase;
OCL - Osteocalcin; P1NP – Procollagen type 1 N-terminal Propeptide.

3.3. Bone Resorption Markers

Urinary DPD/creatinine and serum levels of CTX-I and TRAcP5b were assessed to characterize bone resorption (Figure 2).

The only resorption marker that showed a significant increase over time was urinary DPD/ Creatinine (p-value=0.041) with a significant difference between groups 1 and 3 (p-value=0.036). Regarding β-CTX we found a slight increase between groups 1 and 2 after which it remained constant (p-value=0.305). The levels of TRAcP5b revealed a non-significant increase from group 1 to group 2 followed by a slight decrease in group 3 (p-value=0.484).

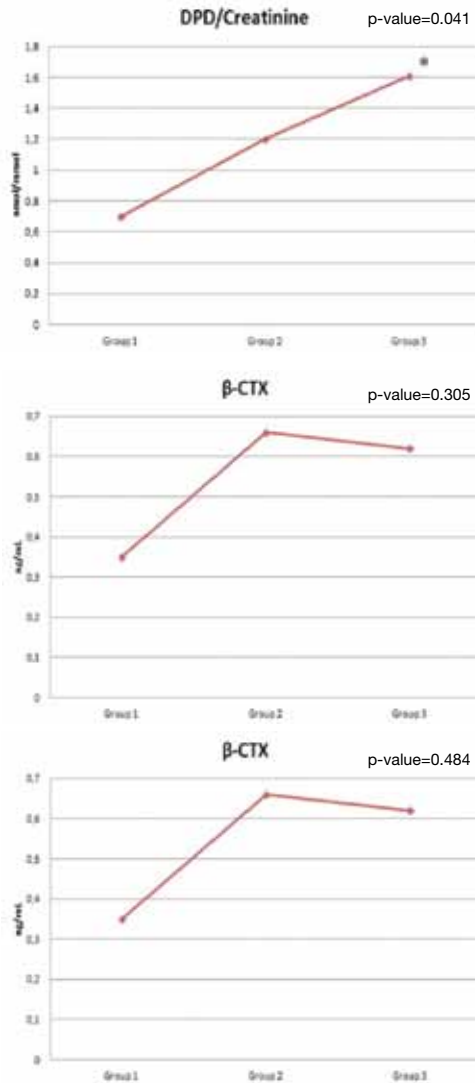



Figure 2. **Bone resorption markers grouped according to the time between fracture and surgery.** * p-value<0.05 for comparisons between the three groups using ANOVA. (Points represent mean values). DPD – Deoxypyridinoline; β-CTX – β C-terminal telopeptide of type I collagen; TRAcP5b – Tartrate-resistant acid phosphatase 5b.

3.4. Calcium metabolism

Serum levels of calcium, phosphorus and PTH were analyzed but no statistical significant differences were observed between the three groups (Table 2).

Calcium and phosphorus levels remained constant over the three groups (calcium: p-value=0.894; phosphate: p-value=0.807); also, the values of calcium were under normal range. In addition PTH remained constant between groups 1 and 2 followed by a downfall in group 3 (p-value=0.835).

Table 2: Calcium metabolism.
Values represent means. Comparison between the 3 groups was performed with ANOVA. PTH – Parathyroid Hormone

	Group 1	Group 2	Group 3	p-value
Calcium (mg/dL)	8.19	8.13	8.01	0.894
Phosphorus (mg/dL)	3.3	3.37	3.2	0.807
PTH (pg/mL)	53.64	59.79	45.29	0.835

4. DISCUSSION

The aim of this work was to study bone turnover markers in the immediate post-fracture period in patients who underwent a fragility fracture. We did not find any significant changes in BTMs in the early post-fracture period, except for urinary DPD/creatinine which showed a significant increase, particularly between groups 1 and 3.

The fracture event influences the levels of BTMs as a result of increased bone remodeling activity at the fractured site itself or as a reflection of accelerated bone loss close to the fracture [Cox G, 2010]. This is well established in non-osteoporotic patients but very few studies have addressed this issue in osteoporotic patients concerning the immediate post-fracture period [Obrant KJ, 2005; Ohishi T, 1998; Ivaska KK, 2007].

Obrant KJ et al in a population-based cohort with women aged 75 (the OPRA-study) showed that in patients with a recent fragility fracture, in the previous 2 years, levels of BSALP, CTX, TRAcP5b and DPD/creatinine were significantly higher the more recently the fracture had been sustained. However, they did not address the immediate post-fracture period.

Concordantly with our study, Ohishi T et al in a retrospective study found that in patients with osteoporotic fracture, Serum N-terminal mid-fragment osteocalcin did not increased till the 8th week post-fracture and continued to increase until the end of the study at week 24. Moreover urinary PYD increased significantly during the first week post-fracture compared with the admission values, reaching its peak at week 8 and then returned to the initial level at week 24. Urinary DPD and β-CTX reached their peak values at week 2, and no significant differences were observed at week 8 compared with their initial values. Our results regarding urinary DPD/creatinine come in accordance with Ohishi et al findings of an increase of this bone marker with a peak one to eight weeks after fracture in patients with proximal femoral fracture [Ohishi T, 1998]. All our other markers remained stable over the first 2 weeks.

Moreover, Ivaska KK and collaborators performed a prospective study with 85 elderly women who sustained a fracture after a low-energy trauma where preinjury levels of BTMs were available and they showed that serum P1NP, OC, CTX, TRAcP5b and urinary DPD sampled immediately after fracture were not significantly altered from preinjury levels. However the levels of urinary OC were significantly increased immediately after hip fracture. In the 4 months follow-up, serum P1NP, OC, CTX, TRAcP5b and urinary DPD were significantly elevated.

No other studies have seen our others BTMs in the immediate post-fracture period in osteoporotic patients.

Our study as any other had strengths and limitations. The main strength was the fact that several different BTMs were assessed thus reflecting different aspects of bone metabolism. The size of our population was also considerable larger than most of the previous studies in this field. [Kurdy NM, 1998; Stoffel K, 2007; Veitch SW, 2006; Obrant KJ, 2005; Emani A, 1999] Another advantage was that we collected detailed clinical information of our population, such as, type of trauma, medication, co-morbidities, among others. In concern of limitations, we did not have access to pre-trauma levels of BTMs which could have been useful for assessing any changes in BTMs in the initial hours after fracture. A disadvantage was that although our samples were obtained in a fasting state, they were not obtained at the same time of day since surgery time was defined randomly, predominately in the morning period, according to Operating Room availability. Since BTMs have a circadian rhythm, this may have caused an underestimation of the effects of fracture since BTMs tend to decrease their levels in the afternoon. [Hannon R, 2000]

Our study supports the hypothesis that blood samples collected in the emergency room after hip fracture could be used for the evaluation of bone metabolism since there are not significant alterations in the immediate post-fracture period [Ivaska KK, 2007]. This evaluation could be useful in assessing progression of fracture union, prediction of fracture risk, identification of individuals with high bone turnover and assessment of response to therapy. [Harwood PJ, 2005; Dimitou R, 2005; Giannoudis PV, 2005; Govender S, 2002; Ristiniemi J, 2007; Vesper H, 2004]

5. ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank Prof Dr João Eurico Fonseca for the opportunity given to me to develop my thesis in the Rheumatology Research Unit of the IMM, at Faculty of Medicine of Lisbon, Portugal. I would also like to thank Prof Dra Helena Canhão, Dra Ana Rodrigues and Dra Joana Lopes for the patience in answering all my questions and doubts along the way and encouraging me to keep on developing my thesis.

6. REFERENCES

Bais M, McLean J, Sebastiani P, Young M, Wigner N, et al.: **Transcriptional analysis of fracture healing and the induction of embryonic stem cell-related genes.** *PLoS One* 2009, 4: e5393.

Brown JP, Albert C, Nassar BA et al.: **Bone turnover markers in the management of postmenopausal osteoporosis.** *Clinical Biochemistry* 2009, 42: 929-942.

Civitelli R, Armamento-Villareal R, Naopli N: **Bone turnover markers: understanding their value in clinical trials and clinical practice.** *Osteoporosis Int* 2009, 20: 843-851.

Cooper C, Campion G, Melton LJ 3rd. **Hip fractures in the elderly: a world-wide projection.** *Osteoporos Int*. Nov 1992;2(6):285-9.

Cox G, Einhorn TA, Tzioupis C, Giannoudis PV: **Bone-turnover markers in fracture healing.** *J Bone Joint Surg Br* 2010, 92(3):329-34.

Dimitrou R, Dahabreh Z, Katsoulis E, et al: **Application of recombinant BMP-7 on persistent upper and lower limb non-unions.** *Injury*, 2005; 36(Suppl 4):51-9.

Emani A, Larsson A, Petrén-Mallmin M, Larsson S: **Serum bone markers after intramedullary fixed tibial fractures.** *Clin Orthop* 1999, 368: 220-9.

Garnero P: **Biomarkers for Osteoporosis Management.** *Mol Diag Ther* 2008, 12(3): 157-170.

Gerdhem P, Ivaska KK, Alatalo SL, Halleen JM, Hellman J et al.: **Biochemical Markers of Bone Metabolism and Prediction of Fracture in Elderly Women.** *Journal fo Bone and Mineral Research* 2004, 19(3): 386-393.
Giannoudis PV, Tzioupis C: **Clinical applications of BMP-7: the UK perspective.** *Injury*, 2005; 36(Suppl 3):47-50.
Govender S, Csimma C, Genant HK, et al: **Recombinant human bone morphogenetic protein-2 for treatment of open tibial fractures: a prospective, controlled, randomized study of four hundred and fifty patients.** *J Bone Joint Surg [Am]*, 2002; 84-A:2123-34.
Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. **World-wide projections for hip fracture.** *Osteoporos Int*. 1997; 7(5):407-13.
Hannon R, Eastell R: **Preanalytical variability of biochemical markers of bone turnover.** *Osteoporos Int*, 2000, 11(Suppl 6): S30-S44.
Harwood PJ, Giannoudis PV: **Application of bone morphogenetic proteins in orthopaedic practice: their efficacy and side effects.** *Expert Opin Drug Saf*, 2005; 4:75-89.
Ivaska KK, Gerdhem P, Akesson K, Garnero P, Obrant KJ: **Effect of fracture on bone turnover markers: a longitudinal study comparing marker levels before and after injury in 113 elderly women**. *J Bone Miner Res* 2007, 22(8):1155-1164.
Joerring S, Krogsgaard M, Wilbek H, Jensen LT: **Collagen turnover after tibial fractures.** *Arch Orthop Trauma Surg* 1994, 113(6):334-6.
Kanis JA, Johnell O: **Requirements for DXA for the management for osteoporosis in Europe.** *Osteoporosis Int* 2005; 16:220-238.
Kanis JA, Johnell O, Oden A, et al. (2000) **Long-term risk of osteoporotic fracture in Malmo.** Osteoporos Int 11:669
Kanis JA, Johnell O, Oden A, Jonsson B, Dawson A, Dere W. **Risk of hip fracture derived from relative risks: an analysis applied to the population of Sweden.** *Osteoporosis Int* 2000; 11: 120-127.
Khan SN, Solaris J, Ramsey KE, Yang X, Bostrom MP, et al.: **Identification of novel gene expression in healing fracture callus tissue by DNA microarray.** *HSS J* 2008, 4: 149-160.
Kurdy NM, Bowles S, Marsh DR, Davies A, France M: **Serology of collagen types I and III in normal healing of tibial shaft fractures.** *J Orthop Trauma* 1998, 12(2):122-6.
Leeming DJ, Alexandersen P, Karsdal A, Qvist P, Schaller S, Tankó LB: **An update on biomarkers of bone turnover and their utility in biomedical research and clinical practice.** *Eur J Clin Pharmacol* 2006, 62: 781-792.
Melton LJ, 3rd, Atkinson EJ, O'Connor MK, et al. (1998) **Bone density and fracture risk in men.** J Bone Miner Res 13:1915.
Melton LJ, 3rd, Chrischilles EA, Cooper C, et al. (1992) **Perspective. How many women have osteoporosis?** J Bone Miner Res 7:1005.
Multimaki P, Aro H, Vuorio E: **Differential expression of fibrillar collagen genes during callus formation.** *Biochem Biophys Res Commum* 1987, 142(2): 536-541.
Obrant KJ, Ivaska KK, Gerdhem P, Alatalo SL, Pettersson K, Vaananen HK: **Biochemical markers of bone turnover are influenced by recently sustained fracture.** *Bone* 2005, 36:786-792.
Ohishi T, Takahashi M, Kushida K, et al.: **Changes in biochemical markers during fracture healing.** *Arch Orthop Trauma Surg* 1998, 118: 126-30.
Old JL, Calvert M. **Vertebral compression fractures in the elderly.** *Am Fam Physician*. Jan 2004; 69(1):111-6.
Ristiniemi J, Flinkkila T, Hyvonen P, et al: **RhBMP-7 accelerates the healing in distal tibial fractures treated by external fixation.** *J Bone Joint Surg [Br],* 2007; 89-B:265-72.
Rundle CH, Wang H, Yu H, Chadwick RB, Davis EI, et al.: **Microarray analysis of gene expression during the inflammation and endochondral bone formation stages of rat femur fracture repair.** *Bone* 2006, 38: 521-529.
Schuit SC et al.: **Fracture incidence and association with bone mineral density in elderly men and women: the Rotterdam Study.** *Bone* 2004; 34(1):195-202.
Stoffel K, Engler H, Kuster M, Riesen W: **Changes in biochemical markers after lower limb fractures.** *Clin Chem* 2007, 53: 131-4.
Street J, Bao M, deGuzman L, Bunting S, Peale FV, Jr., et al.: **Vascular endothelial growth factor stimulates bone repair by promoting angiogenesis and bone turnover.** *Proc Natl Acad Sci USA* 2002, 99: 9656-9661.
Veitch SW, Findlay SC, Hamer AJ, Blumsohn A, Eastell R, Ingle BM: **Changes in bone mass and bone turnover following tibial shaft fracture.** *Osteoporos Int* 2006, 17(3):364-372.
Vesper H, Cosman F, Endres DB, Garnero P, Hoyle NR, Kleerekoper M, Mallinak NJS: **Application of Biochemical Markers of Bone Turnover in the Assessment and Monitoring of Bone Diseases: Approved Guideline.** *NCCLS*, 2004, Document C48-A.
WHO. **Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group.** *WHO technical Report Series.* 1994; 843.

Unidade de Cuidados Continuados: Um projeto para um futuro sustentável da Saúde Militar

Autora: Carla Machado, Alferes Aluna da Especialidade de Saúde
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

Orientador: Carlos Ferreira, Capitão Técnico de Saúde
Hospital das Forças Armadas

Resumo: Inserida numa realidade atual de crise económica, mudança de paradigmas, perceção de que o futuro da Saúde a nível nacional parece quase insustentável, e já em curso a reestruturação física do HFAR, torna-se imperativo que a Saúde Militar, no âmbito das Forças Armadas, possa ter nos Cuidados Continuados uma resposta a todos estes aspetos. Após uma análise ponderada da realidade da Saúde Militar e do estado da arte do tema, abrangendo a realidade nacional e internacional, verifica-se que os gastos diários com o internamento, podem ser evitados através do surgimento de respostas adequadas e que impliquem menos custos. Por outro lado, a reestruturação dos serviços, nomeadamente do atual HFAR, contêm implícitamente algumas necessidades a que este tipo de unidade poderá dar resposta. Este artigo, norteado pela sustentabilidade da Saúde Militar, em contexto real e no plano futuro, tem por objetivo apresentar um cenário possível que reduza/ sustente os gastos em Saúde, mantendo requisitos como eficácia, eficiência e qualidade, nos cuidados prestados à população alvo da Saúde Militar. Pretende despertar consciências, dar a conhecer uma vertente atual deste tema, perspetivando um projeto realista e, ao mesmo tempo, inovador nas Forças Armadas. Um verdadeiro desafio às ameaças presentes e futuras de um mundo em constante movimento.

Palavras-chave: Saúde Militar, Cuidados Continuados, Forças Armadas, Sustentabilidade Financeira.

1. INTRODUÇÃO

“Portugal está a atravessar uma crise financeira, económica e social muito séria [...] Uma crise desta importância afeta necessariamente a Saúde e o sistema de saúde do país. Por isso, o que se vai passar na Saúde depende, em grande parte, da qualidade e da oportunidade da resposta à crise instalada” (Observatório Português dos Sistemas de Saúde - Relatório de primavera, 2012). É para uma resposta a esta crise, consequente e obviamente alargada ao nosso sistema de Saúde Militar, que este projeto espera contribuir.

A alteração da definição de prestação de cuidados de saúde, a pressão económica, o envelhecimento populacional, a alteração do perfil dos consumidores, as mudanças epidemiológicas, os avanços científicos no tratamento da doença, o nível de qualidade assistencial, a reafetação de recursos e a própria globalização e expansão da economia mundial, constituem desafios que necessitam de respostas eficazes (Pew Commission, 1998, citada por Santana e Costa, 2008). Tendo inerente a necessidade primordial de encontrar respostas, a fusão dos Hospitais Militares do Pólo de Lisboa, a que atualmente se presencia, tem como base a própria centralização de serviços, proporcionando, entre outras consequências, uma maior eficiência na distribuição e partilha de recursos, uma maior acessibilidade aos utentes, uma maior capacidade de investir em novos projetos, um aumento de conhecimentos (através de troca de experiências entre serviços da mesma especialidade), e uma diminuição de conflitos entre organizações do mesmo grupo pela partilha de objetivos.

A temática escolhida fundamenta-se na conjetura atual portuguesa e especificamente da Saúde Militar, com base nas necessidades que se preveem a curto e longo prazo, e que suportam o já real Hospital das Forças Armadas – Pólo de Lisboa. Torna-se, assim, fundamental um modelo organizacional específico para uma Unidade de Cuidados Continuados militar, pois

apenas desta forma se podem garantir cuidados de saúde com qualidade, mantendo a própria sustentabilidade financeira da Saúde Militar.

Procurando ter uma natureza preventiva, recuperadora e, se possível, paliativa, a Unidade de Cuidados Continuados (UCC) militar projetada neste artigo, situa-se num nível entre os cuidados de base comunitária e os de internamento hospitalar, como recurso intermédio de apoio à recuperação pós-hospitalar, dando resposta ao Hospital das Formas Armadas (HFAR) e às necessidades da população militar.

O papel de gestor é preponderante, como confirma Reis (2004), ao referir que este "é provavelmente um dos mais complexos cargos executivos atualmente existentes [num mundo em que], para além da complexidade das organizações de saúde, as mudanças em curso nos sistemas de saúde irão inquestionavelmente influenciar os exercícios profissionais em saúde, eventualmente com maior visibilidade a nível da prestação, mas com reflexos muito significativos no domínio da gestão". Segundo o Conselho de Enfermagem (2009), o enfermeiro é o técnico de saúde melhor colocado para responder aos objetivos e atribuições destas Unidades, especificamente no que diz respeito à coordenação das mesmas. Ainda segundo este Conselho, a organização e gestão da qualidade dos cuidados de enfermagem aí existentes, deve ser da responsabilidade de um enfermeiro com experiência profissional, ao qual compete de acordo com o Decreto-Lei n.º 104/98 de 21 de abril: "Assegurar, por todos os meios ao seu alcance, as condições de trabalho que permitam exercer a profissão com dignidade e autonomia, comunicando, através das vias competentes, as deficiências que prejudiquem a qualidade de cuidados".

Identificando-se o referido problema-situação atual, este artigo expõe algumas hipóteses de solução, projetando uma Unidade de Cuidados Continuados (UCC) militar, recomendando práticas para a sua implementação e funcionamento. Uma sugestão para um futuro sustentável da Saúde Militar.

2. CUIDADOS CONTINUADOS

Em Portugal, segundo a legislação em vigor, define-se *Cuidados Continuados de Saúde*, como "o conjunto de intervenções sequenciais de saúde e ou de apoio social, decorrente de avaliação conjunta, centrado na recuperação global entendida como o processo terapêutico e de apoio social, ativo e contínuo, que visa promover a autonomia melhorando a funcionalidade da pessoa em situação de dependência, através da sua reabilitação, readaptação e reinserção familiar e social" (Decreto-Lei n.º 101/2006 de 6 de junho).

Para Correia de Campos (2008), "a reforma dos cuidados continuados, visa ampliar os ganhos em saúde através de quatro dimensões", que irão permitir:

- Acrescentar anos à vida (ganhos em anos de vida que deixam de ser perdidos);
- Acrescentar saúde à vida (por redução dos episódios de doença ou do seu encurtamento);
- Acrescentar vida aos anos (através da diminuição de situações de incapacidade e do aumento da funcionalidade física, psicológica e social);
- Acrescentar qualidade à vida (permitida por uma redução do sofrimento evitável e uma melhoria da qualidade de vida condicionada pela saúde do indivíduo).

Na legislação nacional Decreto-Lei n.º 101/2006, de 6 de junho), estão previstos vários tipos de serviços: Unidades de Internamento, Unidades de Ambulatório, Equipas Hospitalares (Equipa de Gestão de Altas e Equipa Intra hospitalar de Cuidados Paliativos), Equipas Domiciliárias (Equipa de Cuidados Continuados Integrados e Equipa Comunitária de suporte em Cuidados Paliativos).

Entre as Unidades de Internamento, registam-se: Unidades de Convalescença (tipo 1), Unidades de Média Duração e Reabilitação (tipo 2), Unidades de Longa Duração e Manutenção (tipo 3), e Unidades de Cuidados Paliativos. Às várias modalidades distinguidas nas unidades de internamento, corresponde uma prestação de cuidados de nível diferente. Assim, e segundo a mesma legislação (Decreto-Lei n.º 101/2006, de 6 de junho), tem-se:

Unidade de Convalescença (Unidade de Internamento Tipo 1):

- Destinada a prestar tratamento e supervisão clínica, continuada e intensiva, para cuidados clínicos de reabilitação, na sequência de internamento hospitalar originado por situação clínica aguda, recorrência ou descompensação de processo crónico. Tem, por finalidade a estabilização clínica e funcional, a avaliação e a reabilitação integral da pessoa com perda transitória de autonomia potencialmente recuperável e que não necessita de cuidados hospitalares de agudos. Abarca internamentos com previsibilidade até 30 dias consecutivos, por cada admissão.

Unidade de Média Duração e Reabilitação (Unidade de Internamento Tipo 2):

– Responsável pela prestação de cuidados de saúde e de apoio social em regime de internamento e de unidade de dia. Pretende de forma global a recuperação das funcionalidades e a potencialização de capacidades, por um período que não exceda os 90 dias.

Unidade de Longa Duração e Manutenção (Unidade de Internamento Tipo 3):

– Tem como propósito prestar cuidados de saúde e de apoio social em regime de internamento e de unidade de dia. Inclui áreas de apoio psicológico, reabilitação ou manutenção de longa duração, por um período que se prevê superior a 90 dias.

Unidade de Cuidados Paliativos:

- Responsável por assegurar cuidados médicos diários, cuidados de enfermagem permanentes, exames complementares de diagnóstico laboratoriais e radiológicos, prescrição e administração de fármacos, fisioterapia, acompanhamento e apoio psicossocial e espiritual, atividades de manutenção, higiene, conforto e alimentação, convívio e lazer.

A atividade da Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados (RNCCI), é reconhecida segundo um estudo da Deloitte (2011), como indispensável, subsistindo porém alguns problemas, no que diz respeito principalmente, à capacidade ainda insuficiente para fazer face à procura crescente e à existência de algumas barreiras no acesso à rede, relacionadas com a articulação com os hospitais e outras unidades de saúde.

3. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO: UCC MILITAR

O Decreto-Lei n.º 187/2012 de 16 de agosto, cria o HFAR, já previsto na Lei Orgânica n.º 1 – A/2009 de 7 de julho, que aprovou a Lei Orgânica de Bases da Organização das Forças Armadas (LOBOFA), e no Decreto-Lei n.º 234/2009, de 15 de setembro, que aprovou a orgânica do Estado-Maior General das Forças Armadas.

Localizado no espaço físico do Hospital da Força Aérea, o HFAR tem como missão "prestar cuidados de saúde diferenciados aos militares das Forças Armadas e à família militar, bem como aos deficientes militares, podendo, na sequência de acordos que venha a celebrar, prestar cuidados de saúde a outros utentes" (Decreto-Lei n.º 238/2012 de 10 de dezembro), sendo da sua competência:

- Prestar cuidados de saúde aos beneficiários da Assistência na Doença aos Militares das Forças Armadas (ADM);
- Colaborar no aprontamento sanitário dos militares que integram as Forças Nacionais Destacadas;
- Assegurar condições para o treino e ensino pós-graduado dos profissionais de saúde;
- Apoiar a realização de ações na área da formação e investigação, cooperando com instituições de ensino;
- Responder a situações de acidente grave ou catástrofe, em articulação com o Serviço Nacional de Saúde (SNS) e as autoridades de proteção civil;
- Promover, cooperar e colaborar com o SNS.

Esta última atribuição poderá ser favorecida através de uma articulação com a RNCCI e a UCC militar aqui projetada. Nesta situação, a RNCCI iria identificar a população alvo do HFAR e encaminharia os referidos utentes para esta Unidade de Saúde Militar, evitando as extensas listas de espera para a entrada na rede. Os ganhos seriam visíveis para os utentes, desde que mantidos os valores subjacentes neste trabalho (e salvaguardando, assim, o respeito pela equidade), e para a própria rede, pois diminuiria o tempo de espera para todos os seus utentes.

O HFAR encontra-se sob a dependência direta do Ministro da Defesa Nacional durante a fase de transição, i.e., fusão entre o Hospital da Marinha, o Hospital Militar Principal, o Hospital de Belém e o Hospital da Força Aérea. Concretizada esta fusão, o HFAR será colocado sob dependência direta do Chefe do Estado-Maior das Forças Armadas. O HFAR – Pólo de Lisboa, é financiado através do orçamento do Ministério da Defesa Nacional (Decreto-Lei n.º 187/2012 de 16 de agosto).

Esta fusão possui, de forma implícita, uma reorganização de recursos, com vista à prestação de serviços de qualidade, sustentada por recursos humanos, materiais e financeiros adequados e sustentados financeiramente. No entanto, isto exige respostas que necessitam ser criadas, tendo como base ideias inovadoras na saúde militar, de forma a não colocar em risco essa mesma qualidade de cuidados e a resposta assistencial deste hospital, na consciência de que nos encontramos enquadrados em realidades nacionais e internacionais que ditarão o futuro da sustentabilidade da saúde militar.

Aos profissionais de saúde deverá ser exigida a responsabilização de fazer funcionar o sistema (APDH, 2008), pois são os *stakeholders* que ao possuírem maior conhecimento o devem usar da melhor forma, passando pela transmissão da própria informação. Este projeto pretende

ser inovador neste meio, visto que, os utentes deixam de ser apenas um objetivo final, passando a colaboradores neste processo.

A análise da Saúde Militar, deverá então ter em consideração todas estas mudanças, de forma a estabelecer quer objetivos a médio e longo prazo, claros e exequíveis, quer resultados que sejam avaliados de forma a redefinir novas metas. Complementarmente, todas as estimativas futuras, nacionais e internacionais, ditam a necessidade de uma orientação para as necessidades do novo perfil demográfico e epidemiológico. Assim sendo, é também impreterível que o sistema de saúde militar se ajuste a uma sociedade em envelhecimento, caracterizada por um aumento de doenças crónicas, e um crescente índice de dependência, entre outros problemas atuais e futuros. Todos estes fatores, transferidos para a realidade militar, contribuem para um aumento dos gastos em saúde, que podem evoluir para uma insustentabilidade do sistema de Saúde Militar. Torna-se, assim, primordial, agir segundo uma estratégia que permita melhores cuidados de saúde aos utentes do HFAR, recompensa pelas boas práticas profissionais e uma contenção de custos com a saúde. Ou seja, reorientar os cuidados de saúde do HFAR, para cobrir adequadamente as novas necessidades resultantes do novo perfil demográfico e epidemiológico (pessoas com dependência).

É imperativo criar no meio militar, melhores serviços de apoio à recuperação da funcionalidade e continuidade de cuidados após um internamento hospitalar, em situações de fragilidade ou em utentes portadores de doença crónica. Um mundo atual, em que os gastos com a saúde aumentam a um ritmo alucinante, insustentável, e em que os recursos são finitos, exige uma diminuição de internamentos desnecessários, assim como de reinternamentos hospitalares, da utilização excessiva das urgências por falta de apoio continuado e do número de altas hospitalares tardias. Impõe-se capacitar o sistema de saúde militar de intervenções no âmbito da reabilitação e promoção da autonomia, de forma a melhorar a eficiência das respostas a nível dos cuidados agudos hospitalares, e, assim enaltecer princípios como a equidade, eficiência e qualidade.

Neste enquadramento, pretende-se que esta UCC adote, tal como refere a RNCCI (2006), “um novo paradigma de atuação: o dos cuidados integrados de reabilitação global, acompanhamento e manutenção, prestados a pessoas com perda de funcionalidade ou em situação de risco de a perder, combinando simultaneamente cuidados de saúde e de apoio psicossocial, por um período que se prolongue para além do necessário para tratamento da fase aguda de doença ou de intervenção preventiva”.

Articulada com o HFAR, a UCC, deve proporcionar a continuidade dos cuidados de internamento, como recurso intermédio entre a recuperação pós-internamento de agudos e o regresso ao domicílio. Associadamente, deve também, constituir-se como um recurso de apoio aos doentes e seus familiares, quando o estado de saúde do utente exija cuidados diferenciados qualificados, de reabilitação ou apoio social.

Em concreto, a criação desta UCC militar, tem como pretensão:

- Respostas a problemas atuais e futuros;
- O acompanhamento das tendências atuais do sistema de saúde nacional;
- O aumento da diversidade, a eficiência e a qualidade da saúde militar;
- Uma atuação multidisciplinar, de forma a satisfazer as necessidades do utente como ser holístico;

- Uma rapidez de articulação entre os vários serviços;
- Uma melhor distribuição de cuidados, com ênfase na qualidade;
- Uma continuidade entre ações terapêuticas e de reabilitação;
- Um melhor acompanhamento do doente na preparação do seu regresso ao domicílio.
- A centralização do utente e família no núcleo de cuidados;
- O aumento da satisfação dos utentes;
- Prestação de cuidados que enfatizem a promoção da saúde e/ou prevenção da doença;
- A criação de um *continuum* de cuidados;
- O aumento do *empowerment* do utente.

De forma a concretizar estes objetivos, e conforme o Decreto-Lei n.º 171/2007, de 5 de setembro, devem estar implícitas regras de funcionamento que garantam e proporcionem ao doente:

- A prestação de cuidados clínicos, de reabilitação, manutenção e apoio psicossocial adequados à sua condição;
- Uma alimentação adequada, incluindo dietas especiais e individualizadas sempre que indicadas;
- A convivência social, promovendo sempre que possível, o relacionamento entre os próprios doentes, destes com os seus familiares e amigos e ainda com os próprios profissionais da unidade;
- A participação dos familiares ou cuidadores no processo, sempre que isso contribua para o bem estar e estabilidade psicoafetiva do utente;
- Um ambiente seguro, confortável, humanizado e que promova a autonomia;
- O respeito pela decisão do utente ou do seu representante, relativamente aos cuidados;
- A participação destes, na elaboração do plano individual de intervenção, e mantendo a acessibilidade ao mesmo, durante todo o processo;
- A confidencialidade de dados;
- A assistência religiosa e espiritual;
- A visita, diária, em horário alargado que tenha como base as necessidades do envolvimento familiar e/ou amigos.

À presente data, em que arranca um processo de fusão dos hospitais militares, e em que a Saúde Militar reconhece como sendo preponderante uma integração horizontal de cuidados, propõe-se que a UCC militar, seja preferencialmente, integrada no HFAR. Contudo, esta integração, deve respeitar uma diferenciação dos espaços físicos e da abordagem ao utente e prática clínica, relativamente ao hospital de agudos. Outro dos cenários ponderados, refere-se ao aproveitamento do espaço físico de uma das bases da Força Aérea, que respeitando as características estruturais e de equipamento legislado, poderia funcionar em pleno.

Esta UCC militar representa um projeto viável, em que as Forças Armadas se tornam autónomas, neste tipo de cuidados de saúde, que em muito difere do Instituto de Ação Social das Forças Armadas (IASFA). O IASFA é dotado de infraestruturas como lares residenciais e centros de recuperação a idosos, no entanto não abrange o tão debatido descanso do cuidador ou cuidados domiciliários, não incluindo de todo, outros utentes que não idosos, que sem necessidade de cuidados em hospital de agudos, ocupam camas que outros verdadeiramente necessitam, estando assim subjacentes não só custos financeiros, como o custo de oportunidade preponderante quando falamos em recursos limitados.

A UCC militar, pretende articular-se com os vários serviços hospitalares, numa continuidade de cuidados, de forma a concretizar os objetivos a que esta unidade se propõe. Assim, pretende-se estabelecer procedimentos de coordenação de referência, tanto para a admissão na Unidade, como para a eventual necessidade de reinternamentos em camas de agudos ou consultas hospitalares. Os procedimentos de coordenação com o HFAR devem ser estabelecidos através de uma equipa de Gestão de Altas, responsável pela referenciação dos utentes, de forma a, melhorar e otimizar a eficiência e qualidade dos cuidados, através de um planeamento precoce da alta, assegurando uma continuidade de cuidados pós alta.

Relativamente ao processo de admissão na UCC militar, aqui projetada, este deve ter como base uma triagem de utentes, obedecendo a critérios, previamente definidos. Assim, os utentes ingressam nesta unidade através de uma proposta da equipa de Gestão de Altas, tendo em consideração que apenas serão admitidos aqueles que correspondam aos seguintes critérios (adaptado de Zózimo et al, 2006):

- Necessidade de vigilância e tratamentos complexos (pós-cirurgicos, pós-traumáticos, ventilação assistida, portadores de SNG/ostomias/ catéteres, úlceras de pressão múltiplas, outros);
- Séniores, com idade igual ou superior a 80 anos, e em situação de fragilidade (desnutrição, deterioração cognitiva, problemas sensoriais, multipatologias, entre outras);
- Doenças crónicas com episódios de reagudização (doença pulmonar obstrutiva crónica, insuficiência cardíaca, doença hepática crónica, doenças cerebro-vasculares, doenças neurodegenerativas, outros);
- Necessidade de ensino doente/ cuidadores (execução de técnicas, regime terapêutico, autocuidados, hábitos de risco, outros);
- Descanso do cuidador;
- Necessidade de continuidade de Cuidados no domicílio (tratamento de feridas/úlceras de pressão, reabilitação, manutenção/substituição de dispositivos, gestão de regime terapêutico, outros).

Posteriormente à seleção de utentes e à identificação dos critérios de inclusão, deve ser feita, nas primeiras 48h, uma avaliação clínica, de enfermagem e social, sendo da responsabilidade de toda a equipa multidisciplinar a realização dos registos eletrónicos no processo do doente. A metodologia de trabalho de toda a UCC, deve assentar nas linhas definidas para este tipo de Unidade, nomeadamente “no desenvolvimento de uma avaliação completa, integral e interdisciplinar de cada doente”, dando início “ao desenho de um plano individual de cuidados adaptado às necessidades de cuidados e com a identificação de objetivos terapêuticos para cada doente” (RNCCI, 2006), articulado numa linguagem CIPE (Classificação Internacional para a Prática de Enfermagem) em uniformidade com a restante instituição de saúde.

Imprescindível para atingir os objetivos da UCC, é a inclusão, no trabalho de equipa de reuniões periódicas para análise de caso. Complementarmente, é também aqui proposta a realização de “conferências familiares”, entre a equipa, o utente e os seus cuidadores.

Outra competência fundamental da equipa de Gestão de Altas surge no planeamento da alta, fator fundamental na UCC, que constitui o culminar de uma prática clínica de excelência, e exige uma comunicação efetiva entre os membros da equipa, o utente e a sua família, com ênfase em cuidados multidisciplinares, na promoção e/ou maximização da autonomia do utente

e na formação dos cuidadores nas vertentes necessárias (mobilização, alimentação, eliminação, entre outras). Um bom planeamento das altas é fundamental, não somente para reduzir o tempo de internamento e o número de readmissões, mas também para assegurar o sucesso de reintegração dos doentes e suas famílias na sociedade (DGS, 2004). Assim, pretende-se que através de uma abordagem integrada no planeamento da alta, seja favorecido um processo de educação dos utentes e/ou cuidadores, de forma a serem capazes de gerir a sua saúde/ processo de doença de forma autónoma. Fundamental que este planeamento se inicie o mais cedo possível, deve contemplar a elaboração de normas institucionais para uma articulação eficaz entre equipas do HFAR, UCC, serviços da comunidade (centros de saúde, lares, etc.), doentes e cuidadores. No dia da alta da UCC militar, pressupõe-se o envio de notas individuais de alta/transferência das diversas áreas profissionais (clínica, de enfermagem e social) para o hospital de destino/ centros de saúde (do SNS, bases ou unidades militares) via fax ou *e-mail*.

Constituindo a necessidade de continuidade de cuidados no domicílio um dos critérios de admissão na UCC militar – cujas vantagens são inquestionáveis, desde a diminuição dos riscos de infeção, diminuição das diversas comorbilidades associadas aos internamentos e manutenção do utente no seu ambiente, entre outras –, surge a necessidade da criar uma equipa de Cuidados Domiciliários, responsável pela prestação de serviços domiciliários, a pessoas em situação de dependência funcional, ou em processo de convalescença, cuja situação não requeira internamento, mas que por outro lado, também não seja possível a deslocação do utente do seu domicílio (Decreto-Lei n.º 101/2006, de 6 de junho).

Os cuidados proporcionados pela equipa de Cuidados Domiciliários deve basear-se num modelo de intervenção integrado, cujo Coordenador deverá ser um enfermeiro, a operar em articulação com a UCC militar, em específico com o Gestor de Casos – enfermeiro responsável por superintender a situação do utente, relativamente à sua mobilidade ou à alta da UCC militar.

No entanto, e tendo como base a limitação implícita neste projeto, quanto à localização da UCC militar, sugere-se a possibilidade da oferta de cuidados domiciliários ser alargada às Bases (e/ou unidades militares). Neste caso, a UCC militar seria a unidade central que encaminharia os processos por zona de residência para a área da Base, existindo em cada Base, um enfermeiro de referência, encarregue da prestação dos cuidados necessários.

O projeto aqui referido, propõe equipas inovadoras e motivadas, submetidas a uma contínua avaliação de desempenho, tentando, sempre que possível, incentivar e premiar o desempenho, através de formações (a fornecer por possível protocolo com a Unidade de Missão para os Cuidados Continuados Integrados, relativamente aos vários *workshops* e formações que esta realiza). Aos profissionais será dado, incentivo à investigação e publicação de trabalhos, visto que, constitui uma grande lacuna em algumas áreas profissionais, no sistema militar, apesar de todos os benefícios que comporta para a evolução dos cuidados de saúde.

Neste seguimento, outro fator essencial da UCC militar, surge no âmbito da realização de ações de formação a profissionais, utentes e cuidadores, na medida em que, a comunicação alerta para as ameaças à saúde e influencia a motivação para a mudança de comportamentos de risco, reforçando, por outro lado, hábitos de vida saudáveis. Um bom processo de comunicação entre profissional de saúde-cidadão, conduz a grandes ganhos em saúde, pelo que deve incidir-se também, na formação destes na arte de bem comunicar.

3.1 Recursos Económicos

A necessidade de contenção dos custos com a saúde, surge como uma política necessária de forma a evitar a insustentabilidade financeira e a garantir a qualidade do sistema de saúde. Conforme legislação em vigor, segundo o decreto-lei n.º 171/2007 de 5 de setembro, que fixa os preços dos cuidados de saúde e de apoio social prestados nas unidades de internamento e ambulatório da Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados, prevê-se como diária de internamento por utente:

- Unidades de Convalescença: 85 euros;
- Unidade de Média Duração: 71 euros;
- Unidade de Longa duração: 46 euros.

Importante também referir que o valor relativo a cuidados domiciliários, conforme a mesma portaria, está definido como 42 euros.

Estes valores constituem uma diferença significativa, comparativamente a um hospital de agudos, em que a faturação de episódios de internamento correspondente a cada GDH (Grupos de Diagnóstico Homogéneos), apresenta valores muito superiores, como comprova a portaria n.º 132/2009 de 30 de janeiro. Aos custos monetários de internamento em hospital de agudos (no HFAR) somam-se ainda os custos de oportunidade, o número de camas que poderiam estar disponíveis para os que realmente delas necessitam, e aos quais num futuro próximo poderão estar negadas, se não forem dadas respostas.

Um ponto fulcral, diz respeito à implementação de medidas que evitem um acréscimo dos custos. Assim, este projeto pretende actuar em dois factores essenciais:

- Prevenção da doença, através de programas de promoção de hábitos de vida saudável, rastreios e programas que previnam problemas de saúde secundários a doenças crónicas;
- Utilização racional da tecnologia, o que impõe uma “carta de equipamentos de saúde” atualizada, e em que, a aquisição de equipamentos, deve basear-se numa análise custo-benefício, para uma utilização eficiente, que evite excessos e conduza a uma rentabilização dos recursos.

3.2 Sistema de Informação

O poder dos decisores, deve beneficiar de sistemas de informação que lhes permitam tomar decisões corretas e informadas. Pretende-se que o Sistema de Informação da UCC esteja em rede com a aplicação informática de saúde da Glintt, incluindo a linguagem CIPE – com protocolos adaptados a este tipo de serviço e em conformidade com o regulado a nível nacional, para uniformização da linguagem – de forma a possibilitar que a saúde militar seja integrada nas estatísticas nacionais no que diz respeito a estes serviços e, complementarmente, deve permitir calcular os vários indicadores de desempenho aqui propostos para a UCC militar (e que serão abordados no subcapítulo 3.4), de forma a permitir a sua monitorização e avaliação.

O sistema de informação da UCC, deve, então, disponibilizar toda a informação clínica do utente, designadamente: o registo de admissão, as informações de alta, o diagnóstico das necessidades, o plano individual de intervenção e o registo de avaliação semanal.

Outra das ideias inovadoras deste projeto, consiste em aproveitar o Sistema de Informação da UCC militar, para o desenvolvimento de uma plataforma que contribua para o *empowerment* do cidadão, por forma a esclarecer dúvidas e registar informações úteis ao seu plano de saúde após a alta, respeitando o direito à confidencialidade de dados. O objetivo desta, consiste em atuar na promoção da saúde e prevenção da doença, colocando o utente no centro do sistema. A Declaração de Jacarta (1997) refere que "perante novas ameaças para a saúde pública, são necessárias novas formas de ação e que o desafio futuro consiste em mobilizar o potencial de promoção de saúde que existe em vários setores, nas comunidades locais e no seio das famílias".

Esta plataforma deve, então, possibilitar:

- O registo dos sinais vitais avaliados pelo próprio utente ou cuidador;
- O acesso do utente a informações sobre as próprias doenças;
- A identificação de situações de potencial risco;
- A prestação de informação ao utente e aos seus cuidadores sobre comportamentos de vida saudáveis;
- A transmissão de informações no âmbito de programas de envelhecimento e estilos de vida ativo;
- A exposição de dúvidas.

3.3 Qualidade

"Uma das principais questões que se coloca num ambiente de crise e de restrições orçamentais na saúde é a qualidade dos cuidados prestados" (OPSS, Relatório da primavera 2012). Nesta conjuntura atual, os esforços devem ser dirigidos de forma a elevar critérios de eficiência, salvaguardado no entanto a qualidade dos cuidados prestados. É essencial, evitar a tendência de fazer-se simplesmente "menos", mas antes, fazer-se "o mesmo" com "menos", e aqui a implementação desta unidade na saúde militar é fundamental.

Em conjunto com a eficiência e a equidade, a qualidade constitui um dos três pilares da reforma dos sistemas de saúde na generalidade dos países, nomeadamente em Portugal, de forma a concretizarem os três objetivos propostos pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 1999): melhorar a saúde das populações, responder às expectativas das pessoas, proporcionar proteção financeira contra os custos da falta de saúde. Estes três pilares tornam-se assim, primordiais na reestruturação da saúde militar. Segundo APDH (2008), citando Ovretveit e Karolinska, qualidade de serviços em cuidados de saúde é "ir ao encontro das necessidades dos utentes … pelo custo mais baixo e de acordo com o regulamentado", sendo este último a melhor evidência conhecida para a resolução do problema. Outros aspetos que conduzem a uma melhoria da qualidade, dizem respeito a uma efetiva gestão do risco e liderança nos serviços, numa forte componente formativa.

A profissionalização em conjunto com a eficiência no uso de recursos, da gestão dos riscos e da satisfação dos utilizadores, é um dos aspetos cruciais da qualidade em saúde. Aos profissionais da saúde – "*people whose Job it is to protect and improve the health of their comunities*" – compete, pela sua excelência técnica, minimizar riscos, garantir a maior eficiência (resultado/fator de esforço) e assegurar a satisfação das pessoas (APDH, 2008,

citando WHO, 2006), “uma avaliação da qualidade não se fica nos processos. Termina nos resultados” (APDH, 2008).

De forma a implementar a qualidade na UCC, pretende-se abranger as várias abordagens para promover a qualidade, como a implementação de medicina baseada na evidência e *guidelines*, desenvolvimento profissional, *empowerment* do cidadão, avaliação e responsabilização e a gestão da qualidade total, tendo presente a premissa de que estratégias combinadas são mais efetivas, pois, num processo dinâmico de cuidados de saúde, não é realista esperar que apenas uma abordagem seja a solução.

Numa abordagem mais restrita aos enfermeiros, e no que diz respeito à regulação do exercício profissional, deve-se ter presente o cumprimento das normas deontológicas e dos padrões de qualidade do exercício profissional, no Regulamento do Exercício Profissional dos Enfermeiros e Código Deontológico do Enfermeiro; nas Competências do Enfermeiro de Cuidados Gerais, Enquadramento Conceptual e Padrões de Qualidade dos Cuidados de Enfermagem. A definição de Padrões de Qualidade dos Cuidados de Enfermagem torna-se de importância crucial para uma excelência de cuidados ao utente, contribuindo também para uma reflexão do próprio exercício profissional. O Conselho de Enfermagem (2001), assume a qualidade em saúde como tarefa multiprofissional, num contexto de aplicação local. Defende ainda, a criação de sistemas de qualidade em saúde como uma ação prioritária, como assumido também formalmente a nível internacional, pela Organização Mundial de Saúde e o Conselho Internacional de Enfermeiros.

Esta UCC assume a necessidade de implementação de sistemas de melhoria contínua da qualidade, que conduza futuramente, a uma acreditação neste âmbito, não podendo esquecer, no entanto, a importância das instituições de saúde, às quais compete “adequar os recursos e criar as estruturas que obviem ao exercício profissional de qualidade” (Conselho de Enfermagem, 2001), de forma a que esses projetos de qualidade se tornem parte do dia a dia das organizações, em vez de estas entrarem em conflito com os mesmos.

O efeito da qualidade do funcionamento da UCC sobre os custos é um ponto fulcral a debater. A preocupação com a qualidade tem origem em realidades como as expectativas do utente, que dirige cada vez mais a sua atenção para aspetos que funcionam como escolha entre serviços de saúde e alteração de modelos de funcionamento. Segundo Barros (1998), a qualidade deve sobretudo centrar-se na organização interna da entidade prestadora, um processo produtivo que implique a mais perfeita utilização dos recursos disponíveis. Já as expectativas do utente centram-se numa qualidade em sentido interno da organização, em que o objetivo é a satisfação dos mesmos. Assim, deve-se procurar “fazer melhor a menores custos”, tendo em consideração o custo de oportunidade e uma satisfação dos utilizadores dos cuidados.

3.4 Monitorização e Avaliação da UCC

Segundo a Carta de Tallin (WHO, 2008) “ A monitorização e avaliação do desempenho do sistema de saúde e a cooperação equilibrada com as partes interessadas em todos os níveis de governação são essenciais para promover a transparência e a responsabilização”. Um dos aspetos fundamentais para o sucesso desta UCC, será a sua monitorização e avaliação.

É imperativo que os ganhos em saúde sejam medidos, os benefícios para os utentes e para a própria instituição. Aqui, os estudos de investigação são preponderantes, de forma a

avaliar o que pode significar esta mudança ao evitarem-se: internamentos desnecessários (que indiscutivelmente podem fazer perder capacidades dos doentes), e intensificação de sintomas que levam os utentes a recorrer novamente ao hospital. Por outro lado, importa ter presente, a monitorização da qualidade dos serviços que serão prestados: demoras médias, ganhos em autonomia nas atividades de vida; análise dos níveis de dependência à entrada e saída da unidade e ainda o destino pós-alta do doente.

Os registos terão, então, que ser prática habitual e uniforme da UCC. Assim, a avaliação de desempenho da UCC, será feita através de um conjunto de indicadores transparentes e disponíveis a toda a equipa, de forma a ser possível atuar rapidamente em fatores negativos ou alterações de desempenho, com vista numa qualidade de cuidados major.

Consideram-se indicadores de resultados negativos:

- Infeções;
- Lesões não explicáveis;
- Inatividade dos utentes;
- Posicionamento inadequado;
- Erros de medicação;
- Úlceras de pressão;
- Desconforto e dor;
- Comportamento disruptivo;
- Nutrientes adequados e/ou líquidos de hidratação não consumidos;
- Alteração de peso não planeado;
- Aspeto geral pouco cuidado – cabelo, unhas, barba, vestuário inapropriado.
- Barreiras ao movimento;
- Interações inapropriadas entre profissionais e utentes;
- Serviço de refeições desorganizado;
- Equipamento inadequado;
- Má manutenção das instalações;
- Ambiente com questões de segurança não identificadas e/ou não.

A prestação de cuidados seguirá as - Orientações Gerais de Abordagem Multidisciplinar e Humanização em Cuidados Continuados Integrados - da Unidade de Missão para os CCI (RNCCI, 2007).

O funcionamento e a qualidade dos cuidados prestados nesta UCC militar, de igual modo, a eficácia de articulação com as restantes equipas hospitalares, equipa de cuidados domiciliários e centros de saúde militares e civis, na presente proposta deverão ser sujeitos a uma avaliação periódica, sem qualquer prejuízo de processos internos de melhoria contínua da respetiva gestão da qualidade. Para tudo isso, torna-se impreterível o registo de informações e observações pertinentes, que primem pela transparência e que constarão da base de dados a criar no sistema de informação determinado para a UCC militar. Como indicadores de desempenho, para a UCC militar, tendo por base os "Indicadores de Desempenho da Unidade Cuidados na Comunidade" (Missão para os Cuidados de Saúde Primários, 2010), propõem-se:

- Percentagem de pessoas abrangidas por cuidados de enfermagem por programa / projeto;
- Percentagem de utilizadores da UCC satisfeitos com os serviços prestados por esta unidade;

- Percentagem de profissionais satisfeitos com a UCC;
- Ganhos em independência nos autocuidados (Higiene, Vestuário, Uso Sanitário, Transferir-se, Posicionar-se, Alimentar-se, Deambular);
- Ganhos expressos no controlo da intensidade da dor;
- Taxa de eficácia na prevenção de úlceras pressão;
- Taxa de ocupação dos cuidados domiciliários;
- Taxa de resolução do diagnóstico úlcera de pressão;
- Taxa de resolução do papel do prestador de cuidados inadequados;
- Percentagem de pessoas com visitação domiciliária nas primeiras 24h após admissão nos cuidados domiciliários;
- Percentagem de pessoas com intervenção interdisciplinar em visitação domiciliária nas primeiras 48h após admissão nos cuidados domiciliários.

4. CONCLUSÃO

A UCC aqui proposta pretende responder a problemas com que inevitavelmente o contexto da reestruturação da Saúde Militar, numa conjetura mundial de crise, se irá deparar. Constitui-se, assim, como um novo nível de cuidados, construído a partir dos já existentes. Um desafio, uma lógica de cuidados diferentes no meio militar, que permite reduzir tempos de internamento desnecessários, diminuir custos de hospital de agudos (HFAR), e por outro lado, dar respostas sociais no apoio ao doente no domicílio e às famílias em que o cuidador necessita de um período de descanso. No fundo, uma adequação de cuidados de qualidade, numa redução da permanência de cuidados crónicos no hospital e um consequente aumento das camas disponíveis para internamentos de agudos, com foco numa maior eficiência, diminuição de custos e cuidados de qualidade. Espera-se uma prestação de cuidados de saúde de qualidade e de forma efetiva e eficiente, que capacite os seus utentes para uma maior autonomia, através de um novo modelo de cuidados nas Forças Armadas que pretende reabilitar e dar resposta a situações de dependência ou perda de autonomia, independentemente da idade e envolvendo o utente e a sua família segundo um papel pró-ativo de cuidar da sua saúde.

Ao incentivar o comportamento de autocuidado, este serviço pretende efetividade nos resultados, controlo dos sintomas e diminuição dos riscos de complicações, diminuição das taxas de readmissão e de utilização dos serviços de saúde, e consequentemente uma redução dos gastos em saúde do HFAR. Por outro lado, um incremento do senso de responsabilidade no dever de zelar pela sua saúde, nomeadamente no âmbito do controlo, independência e autonomia, associado a um ajustamento da capacidade de lidar com a doença, proporciona vantagens no *empowerment* do cidadão. Só assim, será possível manter a sustentabilidade do sistema de saúde militar no futuro e aumentar a satisfação dos utentes. Este projeto espera incentivar a promoção da saúde e prevenção da doença, fator que será de importância fulcral, através de informação transmitida pelos próprios profissionais e ações de formação com ênfase no utente no centro dos seus cuidados, seguindo a premissa de que programas de prevenção no presente, aumenta a probabilidade de reduzir custos em saúde no futuro (ex. tabagismo, alcoolismo, alimentação, exercício físico, etc., com colaboração de parceiros internos).

Investir em saúde é investir no desenvolvimento humano, bem-estar social e prosperidade. O sistema de saúde militar tem de garantir a todos os que necessitam de serviços de saúde uma resposta segura, real e eficaz, num caminho de sustentabilidade financeira. Uma equipa multidisciplinar e intersectorial unida num rumo que veja o utente no centro do sistema, numa missão para a qual todos caminhem para um melhor futuro da saúde da população alvo.

Num perfil de líder/gestor desta UCC militar, é imperativo o planeamento, organização e avaliação, com a presença de uma análise e reflexão crítica, numa comunicação assertiva com toda a equipa, envolvendo-a, motivando-a de forma a torná-la produtiva, com profissionais satisfeitos. Sempre integrando as melhores práticas e garantindo a qualidade dos cuidados.

A inovação é necessária no sistema de saúde militar. Como refere Sakellarides, (citando José Gil, 2008): "falta-nos onde produzir sentido, escapar à normalização que impede indivíduos de criar alternativas em zonas essenciais da sua existência, superar o divórcio entre a democracia e o conhecimento – a "não-inscrição" – que faz com que nada aconteça que marque o real, que o transforme e o abra".

A saúde deve ser influenciada através de um *empowerment* do cidadão, numa transferência de conhecimento, numa gestão eficiente, em cuidados de qualidade, equitativos, universais, de informações transparentes, num objetivo comum dos atores sociais, numa perfeita *governance*. Tudo isto só é possível num processo de inovação ponderado, realista e, por isso, aplicável em tempo real.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APDH - **Financiamento, inovação e sustentabilidade**. Lisboa: Companhia das ideias, 2008.

BARROS, P. - The black box of health care expenditure growth determinants. **Health Economics**. 7 (1998), 533-544.

CONSELHO DE ENFERMAGEM – **Divulgar: Padrões de Qualidade dos Cuidados de Enfermagem**. Lisboa: Ordem dos Enfermeiros, 2001.

CORREIA DE CAMPOS, C. - **Reformas da Saúde – o fio condutor**. Lisboa: Almedina, 2008.

DECLARAÇÃO DE JACARTA – **Promoção da Saúde no Século XXI**. Jacarta: 4ª Conferência Internacional sobre Promoção da Saúde, 1997.

DECRETO-LEI n.º 104/98. Diário da República, Iª Série A. 93 (1998-04-21) 1739-1757.

DECRETO-LEI n.º 101/2006. Diário da República, Iª Série A. 109 (2006-06-06) 3856-3865.

DECRETO-LEI n.º 234/2009. Diário da República, Iª Série A. 178 (2009-09-15) 6444-6455.

DECRETO-LEI n.º 187/2012. Diário da República, Iª Série A. 158 (2012-08-16) 4490-4492.

DECRETO-LEI nº 238/2012. Diário da República, Iª Série A. 211 (2012-12-10) 6288-6297.

DELOITTE - **Saúde em análise: Uma visão para o futuro**. Lisboa, 2011.

DESPACHO NORMATIVO n.º 34/2007. Diário da República, IIª Série. 181 (2007-09-19) 27412-27414.DGS – **Planeamento da Alta do Doente com AVC**. Circular Informativa nº12 de 19/04/04.

LEI ORGÂNICA n.º 1 – A/2009. Diário da República, Iª Série. 129 (2009-07-07) 4344-(2) a 4344-(9).

MISSÃO PARA OS CUIDADOS DE SAÚDE PRIMÁRIOS - **Indicadores de Desempenho Da Unidade Cuidados na Comunidade.** 2010.

OMS - **Health 21: The health for all policy framework for the WHO European Region**. European Health for All Series nº 6. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 1999.

OPSS - **Crise & Saúde - Um país em sofrimento: Relatório de primavera 2012**. Lisboa, 2012.

PORTARIA n.º 1087-A/2007. Diário da República, Iª Série. (2007-09-05) 6320-(2) a 6320-(5).

PORTARIA n.º 189/2008, Diário da República, Iª Série. 35 (2008-02-19) 1114-1115.

PORTARIA n.º 132/2009, Diário da República, Iª Série. 21 (2009-01-30) 660-758.

REIS, V.- Gestão em Saúde. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**. 22 (2004), 7-17.

RNCCI - **Enquadramento das unidades de convalescença na RNCCI no âmbito das experiências piloto**, 2006.

RNCCI - **Orientações Gerais de Abordagem Multidisciplinar e Humanização em Cuidados Continuados Integrados da Unidade de Missão para os Cuidados Continuados Integrados**, 2007.

SAKELLARIDES, C. – **Lisboa, Saúde e Inovação: do renascimento aos dias de hoje**. Lisboa: Gradiva, 2008.

SANTANA, R.; COSTA, C. – A integração vertical de cuidados de saúde: aspetos conceptuais e organizacionais. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**. Volume temático:7 (2008), 29-56.

WHO - **Carta de Tallin** – Tradução Ordem dos Enfermeiros. Tallin, 2008.

ZÓZIMO, N., FRADIQUE, E., MIRANDA, R – **Gestão de Altas**. Lisboa, 2006.

Academia da Força Aérea
Granja do Marquês – 2715-021 Pêro Pinheiro
Tel.: 219 678 956 – Fax: 219 678 956

Auditório principal da Academia da Força Aérea